Fachhochschule Salzburg University of Applied Sciences

Alternative Wege zum Nullenergiehaus

Endbericht

Fachhochschule Salzburg GmbH
Forschungsbereich Smart Building & Smart City

Manuela Prieler, MA, MSc
DI Markus Leeb
FH-Prof. Dr. Thomas Reiter

Konsortialführer

FH Salzburg, Smart Building – Energieeffiziente Gebäudetechnik und Nachhaltiges Bauen
Projektleiter: DI Markus Leeb
Manuela Prieler, MA, MSc
FH-Prof. Dr. Thomas Reiter
DI Tobias Weiss

Projektbeteiligte:

Die BAUAkademie Salzburg, Verein BAUAkademie Lehrbauhof Salzburg
Bmst. Johann Feldbacher
Bmst. Arch. DI Graupner Gunther

Energieberatung Salzburg
DI Georg Thor
Blasius Bernhofer, BSc

Gizmocraft design and technology GmbH
DI (FH) Renate Pingerra
Mag. Solacher Elisabeth, BSc

Holzbauinnung / Holzcluster
LIM Egger Friedrich
DI (FH) Lisa Griesebner
Mag. Herbert Lechner

Innovations- und Technologietransfer Salzburg GmbH
Mag. Walter Haas

Kammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten für Salzburg und Oberösterreich
DI Thomas Forsthuber
Arch. DI Peter Horner

Zehentmayer Software GmbH
Josef Zehentmayer
Ing. Denis Gappmaier

Das Forschungsprojekt „Alternative Wege zum Nullenergiehaus“ wurde vom Land Salzburg mit Förderung aus dem Trans4Tec-Programm und den Projektbeteiligten unterstützt.

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzfassung 1
2 Einleitung 5
2.1 Zielsetzung 5
2.2 Aufbau der Arbeit 7
2.3 Methodik 8
3 Wärmedämmverbundsysteme 11
3.1 Grundlagen 11
3.1.1 Wärmedämmung 12
3.1.2 Wärmedämmverbundsystem 13
3.1.3 Energetische Amortisation von Wärmedämmung 14
3.2 Dämmstoffe von Wärmedämmverbundsystemen 17
3.2.1 Anorganische Dämmstoffe 17
3.2.2 Synthetisch organische Dämmstoffe 20
3.2.3 Natürlich organische Dämmstoffe 25
3.3 Potenziale und Entwicklung des Wärmedämmverbundsystem-Marktes 30
3.3.1 Gebäudebestand 31
3.3.2 Marktanteil und Trends 33
3.4 Tauwasserbildung bei Wärmedämmverbundsystemen 36
3.4.1 Tauwasser 36
3.4.2 Reduktion der Tauwasserbildung 44
3.5 Ökobilanz und Ökokennzahlen 47
3.5.1 Allgemeines zur Ökobilanz 47
3.5.2 Ökoindikatoren - OI3 48
3.6 Entsorgung und Recycling 56
3.6.1 Abfallrechtliche Grundlagen 56
3.6.2 Abfallaufkommen 60
3.6.3 Nachnutzung und Entsorgung von Dämmstoffen 60
3.6.4 Trennung der Systemkomponenten von Wärmedämmverbundsystemen 63
3.7 Ökologie natürlich organischer Dämmstoffe 68

3.7.1 Zusatzstoffe ... 69
3.7.2 Herkunft und Verfügbarkeit ... 69
3.7.3 Ökologische Betrachtung von Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ... 73
3.8 Conclusio ... 76
4 Mustergebäude – Break Even Point in der Sanierung ... 79
4.1 Übersicht Mustergebäude ... 80
4.1.1 Einfamilienhaus modern ... 80
4.1.2 Einfamilienhaus klassisch ... 81
4.1.3 Mehrfamilienhaus ... 82
4.1.4 Bürogebäude ... 83
4.2 Ausgangsgrößen ... 84
4.3 Szenarien ... 85
4.4 Amortisation bei Betrachtung der Energiekosten ... 87
4.5 Amortisation bei Betrachtung der Energiekosten und Umweltkosten ... 94
4.6 Conclusio ... 100
5 Big Energy Data ... 101
5.1 Voranalyse ... 101
5.2 Auswertungen ... 104
5.2.1 Heizwärmebedarf von Wohngebäuden ... 104
5.2.2 Wohngebäude mit PV und Solarthermie ... 109
5.2.3 Endenergieenergiebedarf ... 112
5.2.4 Überblick der eingesetzten Energieträger im Bundesland Salzburg ... 113
5.2.5 Wärmeabgabesysteme ... 114
5.2.6 Vergleich Zustand vor und nach der Sanierung ... 116
5.3 Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch ... 122
5.3.1 Wohngebäude ... 122
5.3.2 Nichtwohngebäude ... 138
5.4 Conclusio ... 142
6 Alternative Leuchtturmkonzepte ... 144
6.1 Mehrfamilienhaus ... 144
6.2 Zweifamilienhaus ... 149

6.3 Einfamilienhaus 154
6.4 Conclusio 159
7 Neue Forschungsfelder 161
8 Qualitätssicherung in der Sanierung 165
8.1 Broschüre „Sanieren heute – Wegweiser zum Niedrigstenergiehaus“ 165
8.2 Funktionale Beschreibung 167
9 Verschattung 169
9.1 Derzeitige normierte Berechnungsverfahren 169
9.2 Solar Design Tools 171
9.2.1 Einfache graphische Sonnendiagramme 171
9.2.2 CAD - Softwareprogramme 173
9.2.3 Berechnungsalgorithmen 175
10 Dissemination 177
11 Schlussbetrachtung und Ausblick 179
12 Verzeichnisse 183
12.1 Literaturverzeichnis 183
12.2 Abbildungsverzeichnis 198
12.3 Tabellenverzeichnis 205
12.4 Abkürzungsverzeichnis 207
Anhang ..... a
Plausibilitätsanalyse ..... a
Anmerkung zu Bedarf Verbrauch Vergleich ..... a
Problemauflistung Big Energy Data ..... b
Weitere Ergebnisse von Mustergebäuden – Break Even Point in der Sanierung ..... g

1 Kurzfassung

Die Fachhochschule Salzburg – Forschungsbereich Smart Building & Smart Citiy bearbeitete das Projekt „Alternative Wege zum Nullenergiehaus“ gemeinsam mit den Projektbeteiligten von Mai 2014 bis November 2016. In diesen zweieinhalb Jahren sind dieser Bericht und weitere nationale und internationale Veröffentlichungen entstanden. Wie wichtig die Bauforschung im Bundesland Salzburg ist, wurde am 13.01.2017 in der Wirtschaftskammer Salzburg gezeigt. Hier fand der Kick Off der Brancheninitiative Bauforschung 2020 statt. [FFG 2017]

Mit rund 18.000 Beschäftigten in ca. 2.000 Unternehmen [Innovations- und Forschungsstelle Bau 2017] ist das Bauwesen im Bundesland Salzburg traditionell einer der größten Wirtschaftszweige.

Der Fokus der Bauforschung lag in den letzten Jahren am Neubau. Da nahezu drei Viertel der vorhandenen Gebäude vor 1990 errichtet wurden, darf die Sanierung allerdings nicht vernachlässigt werden. Zwischen den Jahren 2009 und 2012 lag die Sanierungsquote in Salzburg zwischen 0,2 % und 1,0 % [Oberhuber & Denk 2014] deutlich unter der angestrebten Quote von 3 % [Wirtschaftskammer Österreich 2015]. Diese Ausgangssituation zeigt einerseits künftige Potenziale für die Bauwirtschaft auf und veranschaulicht andererseits, dass es neue Wege und Zugänge zum Bauen sowie zum Gebäudeverständnis braucht.

Die Problematik wurde durch das Projekt „Alternative Wege zum Nullenergiehaus“ erstmals im Bundesland erforscht. Erst durch das Förderprogramm Trans4Tec des Landes Salzburg ist es gelungen, die gesamte Salzburger Bauwirtschaft inklusive Architektenkammer und Softwarehersteller im Bereich Energieausweis in dem Projekt zu vereinen. Die gemeinsam erarbeiteten Ergebnisse des Projekts gelangten direkt über die Kooperationspartner zu den einzelnen Unternehmen und wurden außerdem noch über Workshops und Informationsveranstaltungen veröffentlicht um diesen Informationsgewinn allen Betrieben der Salzburger Bauwirtschaft zukommen zu lassen. Ziel des Projekts war es, mit dem Forschungszugang des „smart buildings Konzepts“ alternative Wege zum Nullenergiehaus zu entwickeln, die sich in erster Linie mit der Sanierung des Bestands befassten.

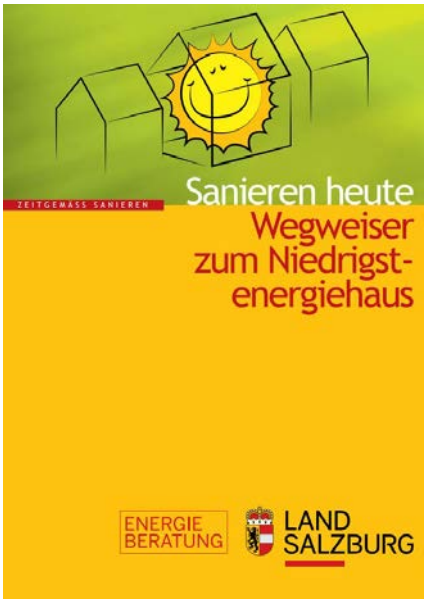


Abbildung 1.1: Broschüre des Forschungsprojektes, http://www.salzburg.gv.at/sanieren_heute.pdf

Im Rahmen des Projekts wurden Schadensfreiheit, Ökologie sowie Entsorgungs- und Recyclingmöglichkeiten und Ökonomie von Wärmedämmverbundsystemen betrachtet. Ebenso wurde eine umfangreiche Broschüre zum Thema Sanierung entwickelt. (siehe Abbildung 1.1)

Das Kernstück des Projekts liegt darin, dass die vom Land Salzburg gesammelten Energie- und Baudaten der Zeus-Datenbank (Zentrale Energieausweisumgebung Salzburg) erstmals analysiert wurden. Hier wurden z.B. der Heizwärmebedarf vor und nach der Sanierung miteinander verglichen, um das Sanierungspotential zu beziffern.

In Abbildung 1.2 ist der Vergleich zwischen den HWB_{SK} zwischen Bestand (links) und Sanierungsfertigstellung (rechts) anhand von Histogrammen dargestellt. Der HWB_{SK} ist dabei in der x-Achse dargestellt, die y-Achse zeigt die Häufigkeit der Werte. Bei der Betrachtung des Histogramms vom Bestand zeigt sich, dass der Heizwärmebedarf HWB_{SK} zwischen 70 kWh/m².a und 240 kWh/m².a liegt. Nach der Sanierung hat sich der HWB_{SK} deutlich reduziert und befindet sich hauptsächlich im Bereich 40 kWh/m².a bis 90 kWh/m².a. Der Median des HWB_{SK} bei Bestand beträgt 158 kWh/m².a und nach der Sanierung 69 kWh/m².a. Somit verringert sich bei Sanierungen der Heizwärmebedarf durchschnittlich um ca. 56 %. In der Sanierung von Gebäuden steckt ein erhebliches Potential um Energie zu sparen. Diese Tatsache bestärkt die Forderung nach einer Erhöhung der Sanierungsquote auf mindestens 3 %.

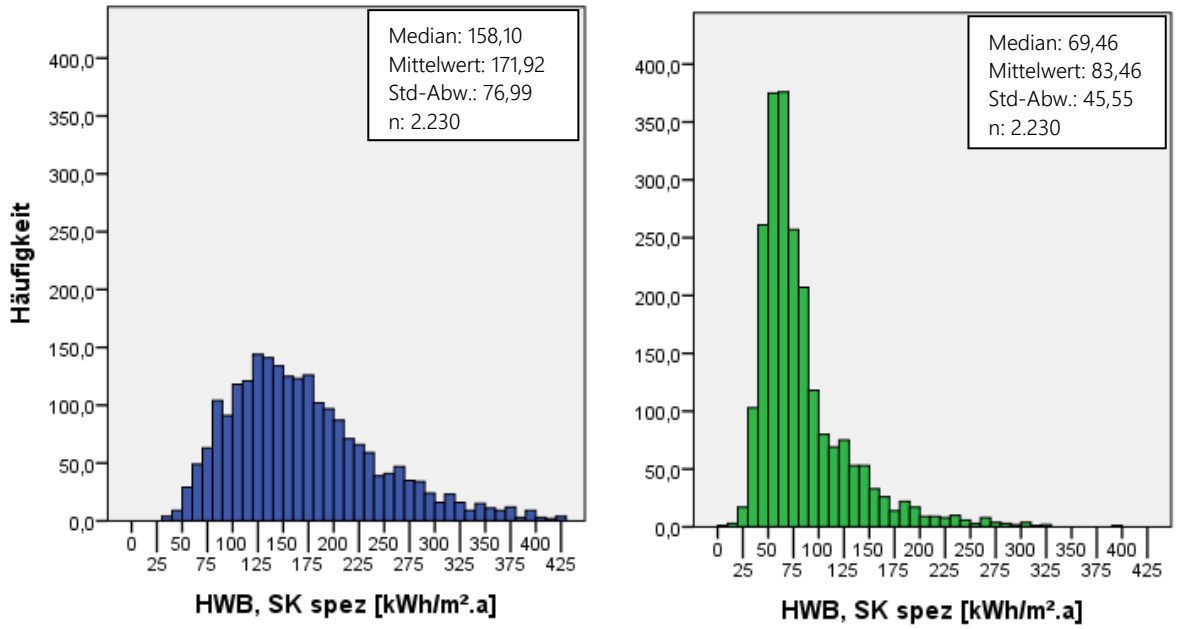


Abbildung 1.2: Vergleich des HWB_{SK} zwischen Bestand (links) und nach der Sanierung (rechts)
[Eigene Darstellung]

Mehr Details zur Auswertung der Energieausweisdatenbank finden Sie im Kapitel Big Energy Data.

Im Kapitel Mustergebäude – Break Even Point in der Sanierung wurden dynamische Amortisationsberechnungen für vier verschiedenen Gebäudetypen erstellt. Neben dem üblichen Verfahren unter Berücksichtigung der Energiekosten wurde auch der Einfluss von Umweltkosten auf die Amortisation berücksichtigt. Für die unterschiedlichen Mustergebäude wurden jeweils Varianten

für mögliche Sanierungen entwickelt und die Amortisation von diesen betrachtet. In Summe wurden 960 Varianten je Mustergebäude analysiert.

Die Analyse der unterschiedlichen Sanierungsvarianten zeigt, dass sich die meisten Sanierungsmaßnahmen im Zeitraum von 11-20 Jahren amortisieren. Die Amortisation der Sanierungsmaßnahme bei Heizungstausch auf Hackschnitzel, Pellets oder Wärmepumpe Luft liegt meist bei 6-15 Jahren. Ein Fenstertausch kombiniert mit Wärmedämmverbundsystem bei der Außenwand rechnet sich unabhängig vom Heizungssystem fast immer nach 11-15 Jahren.

Berücksichtigt man neben den Energiekosten ebenso die Umweltkosten kommt es zu einer Verringerung der Amortisationszeiten, sie liegen hierbei meist im Bereich von 6-15 Jahren. Die größte Veränderung gibt es bei Berücksichtigung der Umweltkosten bei Heizungssystemen mit Wärmepumpen, grundlegend hierfür sind die vergleichsweise geringen Umweltkosten für Strom in Österreich.

Geringe Amortisationszeiten heißt allerdings nicht, dass die Maßnahme betriebswirtschaftlich am günstigsten ist. Betrachtet man den Kapitalwert nach 30 Jahren zeigt sich, dass hohe Investitionen zu Beginn sich bezahlt machen (siehe Abbildung 1.3). Der höchste Kapitalwert wird bei einer umfangreichen Sanierung erreicht, mit Dämmung des Dachs, der Außenwand und Fenstertausch.

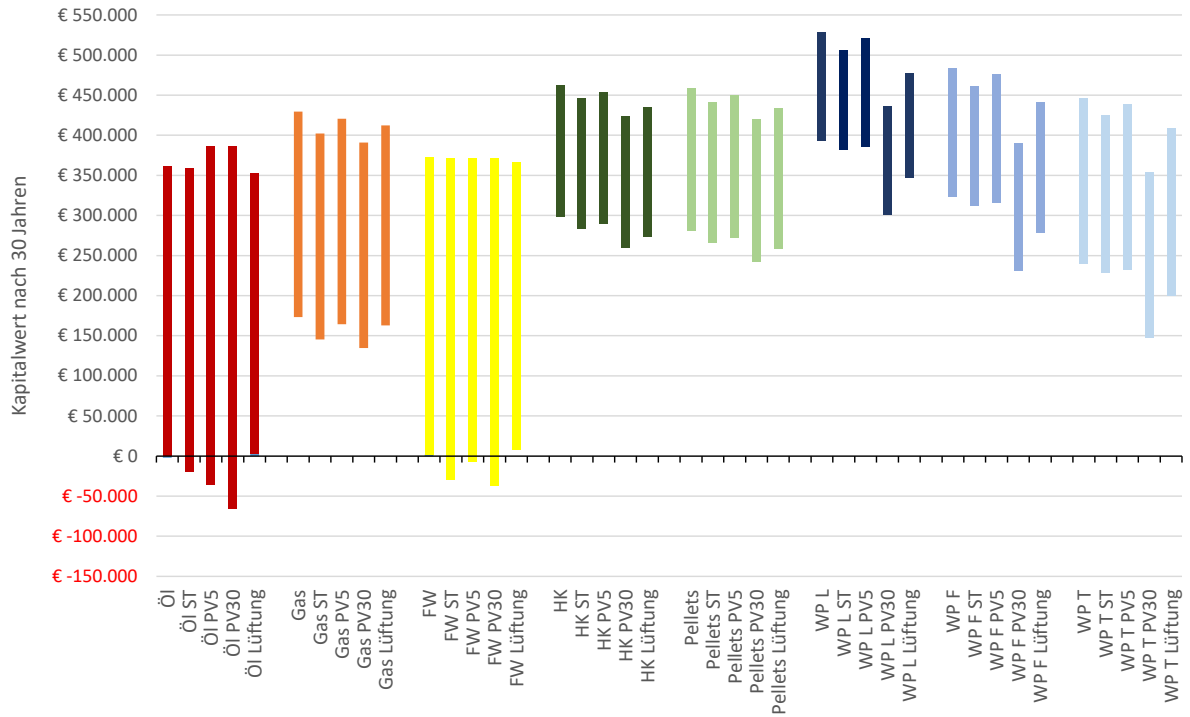


Abbildung 1.3: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten. Die jeweilige Sanierungsmaßnahme wird jeweils alleine, mit ST (Solarthermie), mit PV5 (Photovoltaik 5kWp), mit PV30 (Photovoltaik 30kWp) und mit Lüftung verglichen.

[Eigene Darstellung]

Weitere Ergebnisse zu diesen und anderen Themen finden sich in den folgenden Kapiteln.

2 Einleitung

In der österreichischen Klimastrategie 2007 wurde eine Sanierungsquote von 3% (2008-2012) und mittelfristig von 5 % pro Jahr als Ziel festgelegt. Tatsächlich ist Österreich noch weit davon entfernt. Im Jahr 2013 lag die Sanierungsquote bei 1,4 %. Diese Ausgangssituation zeigt einerseits künftige Potenziale für die Bauwirtschaft auf. Andererseits veranschaulicht diese Situation auch, dass es neue Wege und Zugänge zum Bauen sowie zum Gebäudeverständnis braucht, um diese Potenziale mobilisieren zu können.

Gebäude der Zukunft, als Neubau oder Bestandssanierungen, sind immer als Gesamtsystem und nicht in einzelnen Komponenten zu erfassen. Modernes Bauen erfordert einen ganzheitlichen Zugang, um über durchdachte Systemlösungen, über miteinander optimal abgestimmte und korrespondierende Bau- und Gebäudetechnikkomponenten die steigenden Anforderungen in Sachen Energie- und Ökoeffizienz erreichen zu können. Das Ganze unter der Prämisse leistbare und nutzerfreundliche Baulösungen mit geringen Betriebskosten sicherzustellen, mit besonderem Augenmerk auf die Behaglichkeitsbedürfnisse der BewohnerInnen.

Die Sanierung ist aufgrund vorhandener Baustrukturen und damit eingeschränkten Möglichkeiten komplexer als der Neubau. Das zeigt sich auch in der Praxis. In den letzten Jahren ist gerade bei der Sanierung von Gebäuden meist nur die Betrachtung der Fassade und Außenhülle im Fokus gestanden ist und als wesentliches Energieeffizienzkriterium beurteilt worden. Auch in Sachen Ökoeffizienz, Bauschäden und (vielfach ungelösten) Entsorgungs-/Recyclingfragen von synthetischen Stoffen müssen neue, nachhaltigere und intelligentere Wege eingeschlagen werden. Durch den Trend zu immer dickeren Dämmstärken werden das eingesetzte Baumaterial und die positiven Materialeigenschaften immer unwichtiger, unzureichend in Wert gesetzt und auf rein statische Funktionen reduziert, was auch regionale Baustoffe massiv benachteiligt. Als Folge werden aus technischer und wirtschaftlicher Sicht überdimensionierte Dämm- und Haustechnikpakete an zahlreichen Gebäuden verwirklicht. Das widerstrebt nicht nur ökologischen Baukonzepten und der Material- /Ressourceneffizienz, sondern verteuert Baulösungen unnötig. Es braucht neue Zugänge um Gebäude sinnvoll zu sanieren.

2.1 Zielsetzung

Ziel des Projektes ist, mit dem Forschungszugang des „smart building Konzepts“ alternative Wege zum Nullenergiehaus zu entwickeln, die sich in erster Linie mit der Sanierung des Bestandes befassen. Dabei wird als besonderer Forschungszugang erstmals auf die vom Land Salzburg gesammelten Energieausweisdatenbank zurückgegriffen und diese für die Bauforschung erschlossen.

Im Projekt soll eine intensive Auseinandersetzung mit dem bisher gebauten Bestand in Salzburg

erfolgen, um daraus Wissen zu generieren, welche Baulösungen unter der Brille des neuen Ansatzes „Gesamtsystem Gebäude“ sich hier besonders bewährt haben. Es wird identifiziert welche Subsysteme und Systemkombinationen für neuartige Baukonzepte für die Sanierung forschungsseitig verfolgt und als Modelle für zukunftsweisende Baukonzepte weiterentwickelt werden sollen.

Durch die bisher starke Fokussierung auf die Gebäudeaußenhülle und die skizzierte Dämmproblematik wird sich ein Forschungsschwerpunkt auch im Speziellen mit Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) befassen. Ziel ist hier verschiedene Systeme untereinander zu vergleichen und vor allem auch vorhandene Sanierungsmaßnahmen und deren Problematik hinsichtlich Schadensfreiheit/Recycling und Entsorgung zu analysieren.

Ein Ziel der Forschungsarbeiten ist dabei auch, den sogenannten ökonomischen Break-Even-Point zwischen Qualität der Außenhülle und dem Einsatz erneuerbarer oder hocheffizienter Energiequellen u.ä. in der Sanierung, oder plakativer zwischen ökonomischer und ökologisch- energetischer Effizienz zu hinterfragen und zu analysieren. Dafür werden aus dem Datenbankbestand „Musterbauten“ modelliert, anhand denen die Fragestellungen abgearbeitet werden.

Aus dem Projekt sollen dann Systemansätze im Sinn innovativer Modelle für Baulösungen, sogenannte „alternative Leuchtturmkonzepte“ entstehen, die dann anhand von verschiedenen Forschungsfragstellungen, Machbarkeitsprüfungen und Praxistauglichkeitsfragen validiert und in Reflexionsschleifen verdichtet werden. Diese Zukunftsmodelle können auch auf Daten aus dem Baubestand gut referenziert und evaluiert werden. Daraus sollen dann maßgebliche Inputs für das energieeffiziente Bauen im Bereich Stakeholder und Entscheidungsträger sowie Innovationsimpulse für Unternehmen entstehen.

Eine Querschnittsfragestellung des Projektes ist, wie Baukonzepte und neuartige Systemmodelle im Energieausweis abgebildet werden und wie Logiken im Energieausweis gewisse Bautechnologien bzw. Subsysteme erfassen, umlegen oder auch unzureichend erschließen.

2.2 Aufbau der Arbeit

Der vorliegende Bericht untergliedert sich in 11 Kapitel. Im ersten Kapitel wird neben der Problemstellung, Zielsetzung, Beschreibung des Aufbaus dieses Berichts, die Methodik überblicksmäßig dargestellt.

Der Einstieg in den inhaltlichen Teil der Arbeit erfolgt mit dem zweiten Kapitel, welches das Themenfeld Wärmedämmverbundsysteme behandelt. Innerhalb dieses Kapitels wird der Terminus Wärmedämmverbundsystem definiert, die dafür verwendeten Dämmstoffe erläutert und charakterisiert. Insbesondere wird der Zusammenhang zwischen Schadenanfälligkeit des Systems und der implementierten Dämmstoffstärke analysiert. Weiters wird die Problematik bei Entsorgung und Recycling von Dämmstoffen erläutert. Als letzter Punkt wird ein Einblick in die Ökologie von Dämmstoffen, welche aus nachwachsenden Rohstoffen produziert wurden, gegeben und die Verfügbarkeit von diesen betrachtet.

Das dritte Kapitel widmet sich der Thematik „Break Even Point in der Sanierung“. Hierbei wird erörtert, wann sich bei unterschiedlichen Gebäuden und Heizungssystemen, welche Sanierungsmaßnahmen amortisieren. Knapp 1.000 Varianten, im Sinne von Kombinationen von Haustechnik und Sanierungsmaßnahmen werden hierbei je Mustergebäude analysiert. In Summe werden 3840 Varianten betrachtet, resultierend aus den vier Mustergebäuden Einfamilienhaus modern, Einfamilienhaus klassisch, Mehrfamilienhaus und Bürogebäude.

Im Rahmen des vierten Kapitels wird die Analyse der Energieausweise von Zeus (Daten der Zentrale Energieausweisumgebung Salzburg) behandelt. Dabei werden exemplarisch einige Auswertungen und Vergleiche der Energieausweis-Kennwerte mit den tatsächlich ermittelten Verbrauchswerten der Energiebuchhaltung dargestellt. Weiters werden gewonnen Erkenntnisse bei der Auswertung der Daten und damit das Potenzial für Adaption der Datenbank dargestellt.

Kapitel fünf beschäftigt sich mit Alternativen Leuchtturmkonzepten. Hierbei werden im Rahmen eines Vergleichs zwischen Bedarf und tatsächlichem Verbrauch die Grenzen der Darstellbarkeit von neuartigen, energieeffizienten Gebäudekonzepten im Energieausweis beleuchtet.

Im Rahmen des Forschungsprojekts werden eine Vielzahl unterschiedlicher Themengebiete im Bereich Sanierung aufgegriffen. Im sechsten Kapitel werden Forschungslücken aufgezeigt, welche bis dato noch nicht erschlossen wurden.

Das siebte Kapitel widmet sich dem Arbeitsparket Qualitätssicherung in der Sanierung. Dabei wird die Broschüre, welche die FH Salzburg – Smart Building gemeinsam mit der Energieberatung entwickelt hat ansatzweise dargestellt. Weiters werden Konzepte für funktionale Beschreibungen ausgewählter Haustechniken und Bautechnikproblemstellungen präsentiert.

Die derzeitige Abbildung der Verschattungsmodelle auf Monatsbasis birgt Ungenauigkeiten in

der Berechnung, diese Problematik wird im Rahmen von Kapitel acht aufgegriffen. Dabei werden Modelle, welche die Verschattungsproblematik besser beherrschbar machen vorgestellt.

Kapitel neun widmet sich dem Projektmanagement und erläutert kurz den Ablauf des Projekts.

Im zehnten Kapitel findet sich die Schlussbetrachtung. Hier werden zentrale Ergebnisse zusammenfassend dargestellt, Erkenntnisse präsentiert und ein Ausblick auf mögliche Folgethemen beschrieben.

2.3 Methodik

Die angewandte Methodik bei dieser Studie ist vielfältig und naturgemäß von der individuellen Aufgabenstellung des jeweiligen Kapitels abhängig.

Im Rahmen dieses Kapitels erfolgte eine Literaturrecherche zum Themengebiet Wärmedämmverbundsysteme. Dabei wurden sowohl literarische Werke, als auch flüchtige Medien betrachtet. Es sei allerdings hervorgehoben, dass wissenschaftliche Literatur, im Sinne von Büchern und Fachzeitschriften, bevorzugt behandelt wurden, sofern sie als ausreichend fachspezifisch und aktuell betrachtet werden konnten. In Hinblick auf Internetquellen wurden, sofern es sich dabei nicht um offizielle Webseiten anerkannter Institutionen handelte, Daten und Gedankengüter nur nach sorgsamer Prüfung übernommen.

Die Aufgabenstellung in Kapitel 4 bestand darin Mustergebäude zu entwickeln. Anhand dieser Mustergebäude wurde festgestellt, wo der ökonomische „Break Even Point“ zwischen Qualität der Außenhülle und Haustechnik liegt. Bei der Entwicklung der Mustergebäude wurde darauf geachtet, dass diese einem typischen Haus aus Salzburg entsprechen, hierfür wurden zwei Einfamilienhäuser, ein Mehrfamilienhaus und ein Bürogebäude erstellt. Danach wurden 25 Bautechnikvarianten (Fenstertausch und Dämmung des Dachs, der Außenwand) und 9 Haustechnikvarianten im Sinne von Heizungen mit unterschiedlichen Energieträgern sowie die Kombination dieser Systeme mit Solarthermie oder Photovoltaik unterschiedlicher Leistungen oder Lüftungsanlage entwickelt und analysiert.

Im Fokus der Analyse stand die Amortisation der unterschiedlichen Sanierungsmaßnahmen. Berücksichtig wurde bei der dynamischen Amortisationsrechnung nicht nur die Energiekosten, sondern auch die Umweltkosten für die Bereitstellung der thermischen Energie der unterschiedlichen Heizungssysteme. Die veranschlagten Werte für die Investitionskosten, Instandhaltungskosten, Energiepreise, Energiepreissteigerungen und Kapitalzins werden im Rahmen des Kapitels drei erläutert.

Beim Kapitel 5 Big Energy Data bilden rund 40.000 Energieausweise die Datengrundlage. In Ab-

hängigkeit der Fragestellungen wurden unterschiedliche Wege zur Auswertung gewählt. Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind diese gemeinsam mit den Ergebnissen im 3. Kapitel erläutert. Der gemeinsame Nenner ist, dass für die Datenanalyse durchwegs die Programme MS Office Excel 2013 und IBM SPSS Statistics 19 herangezogen wurden.

Bei der Analyse der alternativen Leuchtturmkonzepte im Kapitel 6 Alternative Leuchtturmkonzepte wurden die tatsächlich verbrauchten Energiemengen laut Zähler mit den berechneten Bedarf laut Energieausweis verglichen. Hierbei wurden die Heizgradtage im Jahr der Erfassungen des Verbrauchs berücksichtigt und der Verbrauch bereinigt, damit ein Vergleich mit dem Bedarf unabhängig vom Jahr der Erfassung möglich ist. Weiters wurden die Grenzen des Energieausweises in Hinblick auf die Abbildbarkeit von visionären Gebäudekonzepten betrachtet. Hierbei wurde analysiert, welche Daten bei der Erstellung des Energieausweises erfasst werden und welche Daten nicht in die Energieausweisberechnungssoftware eingegeben werden kann.

Im Kapitel 7 Neue Forschungsfelder findet sich eine Zusammenfassung der im Rahmen der Erkenntnisse über vorhandenen Forschungslücken und davon abgeleitet ein Ausblick auf Potenziale neuer Forschungsprojekte.

Das Kapitel 8 Qualitätssicherung in der Sanierung war durch eine praxisorientierte Herangehensweise gekennzeichnet. Im Rahmen von sechs Meetings mit den Beteiligten der FH Salzburg und der Energieberatung Salzburg wurden Ideen ausgetauscht, Neuerungen diskutiert und bewertet. Das zentrale Instrument war jedoch die Recherche bei der Entwicklung der Broschüre „Sanieren heute - Wegweiser zum Niedrigstenergiegebäude“. Neben der Entwicklung des Sanierungsleitfadens war es auch eine Aufgabestellung im Projekt Textbausteine und funktionale Beschreibungen für unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen bzw. Änderungen im Haustechniksystem zu erstellen. Hierfür wurden recherchebasierte Funktionsschema und Prozessketten entwickelt.

Im Rahmen des Kapitels 9 Verschattung wurde einerseits das normierte Verfahren analysiert und andererseits eine Literaturrecherche durchgeführt um den Stand der Wissenschaft im Themenfeld Verschattung zu erfassen. Grundsätzlich kann zwischen verhältnismäßig simplen Diagrammen zur Abschätzung und Detailanalyse mit Hilfe von Softwareapplikationen unterschieden werden. Es finden sich bereits diverse Studien, welche sich mit dieser Themenstellung beschäftigen. Im Rahmen des Endberichts wird ein Überblick über diese Studien verschafft, auf die Zweckmäßigkeit für den Einsatz von grafischen Sonnendiagrammen und CAD-Softwareprogrammen eingegangen und fundierte Literaturquellen für Rechenalgorithmen zum Thema Verschattung dargestellt.

3 Wärmedämmverbundsysteme

Im Rahmen der energetischen Sanierung haben Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) eine hohe Bedeutung. Hauptsächlichen Einsatz bei dieser Form der Außenwanddämmung findet expandiertes Polystyrol (EPS) als Dämmstoff. Ein bedeutender Grund dafür ist der attraktive Preis im Vergleich zu anderen Dämmstoffen. Allerdings ist die Rohstoffbasis für diesen Dämmstoff die fossile Ressource Erdöl.

Im Rahmen dieses Kapitels werden unterschiedliche WDVS-Dämmstoffe verglichen und ihre Vor- und Nachteile dargestellt. Da die aufgebrachte Dämmstoffstärke immer weiter zunimmt, wird die Analyse des Zusammenhangs zwischen Dämmstoffdicke und Schadensanfälligkeit der Hauptpunkt dieses Kapitels sein. Weiters wird auf die Problematik im Zusammenhang mit Entsorgung / Recycling eingegangen. Nicht zuletzt sollen im Rahmen dieses Kapitels die Möglichkeiten sowie Grenzen von ökologischen Dämmstoffen als Alternativen dargestellt und ihre tatsächliche Nachhaltigkeit näher betrachtet werden.

Zur Erkenntniserlangung wird eine Literaturrecherche durchgeführt, welche sowohl literarische Werke als auch Internetressourcen beinhaltet. Die größte Bedeutung wird dabei der Vertrauenswürdigkeit und Aktualität der Quellen zugemessen.

3.1 Grundlagen

Um Energieverluste zu minimieren, ist es von zentralem Interesse einen möglichst geringen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) [W/(m^2.K)] von Bauteilen zu erreichen. Der U-Wert wird wie folgt definiert: Er quantifiziert die Wärmeleistung, die durch ein Bauelement von einem Quadratmeter Fläche hindurchfließ, wenn zwischen den beiden Seiten des Bauelements ein Temperaturunterschied von 1 K herrscht. Eine Dämmung um die zu bemessende Fläche führt zu einer Reduktion des U-Wertes.

Im Zusammenhang mit der Fassadendämmung kann zwischen Außendämmung, Kerndämmung und Innendämmung unterschieden werden. Bei der Außendämmung wird das Mauerwerk auf der außenliegenden Seite mit Dämmmaterialien verkleidet. Es kann hierbei zwischen Wärmedämmverbundsystem, vorgehängte Fassade und Dämmputz differenziert werden [Stempel 2009].

Im Rahmen dieser Studie ist lediglich das Wärmedämmverbundsystem (siehe Punkt 3.1.2) von Interesse, weshalb davon Abstand genommen wird die anderen Fassadendämmmöglichkeiten näher zu betrachten.

3.1.1 Wärmedämmung

Unter einem Wärmedämmstoff wird ein Baustoff verstanden, welcher den Wärmestrom von der warmen zur kalten Seite eines Baustoffes verringert. Wärmedämmstoffe bestehen aus einem festen Materialgerüst, das durch eine Vielzahl von luft- oder gasgefüllten, kleinen Hohlräumen unterbrochen ist. Das Volumen der Hohlräume bzw. Poren kann bis zu 98 % betragen. Die Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m.K)] eines trockenen Dämmstoffes wird durch die Faktoren Wärmeleitfähigkeit des festen Stoffgerüsts, Wärmeleitfähigkeit des Porengases und Wärmeübertragung in Folge von Strahlung und Konvektion in den Poren bestimmt [Riedel & Frössel 2007].

Dämmstoffe können entsprechend ihrer chemischen Zusammensetzung (anorganisch oder organisch) und ihrer Materialgrundlage (natürlich oder synthetisch erzeugt) unterschieden werden (siehe Abbildung 3.1). Entsprechend des strukturellen Aufbaus wäre ebenso eine Differenzierung in Faserdämmstoffe, geschäumte Dämmstoffe und Granulate bzw. Schüttungen möglich [Hegger et al 2005].

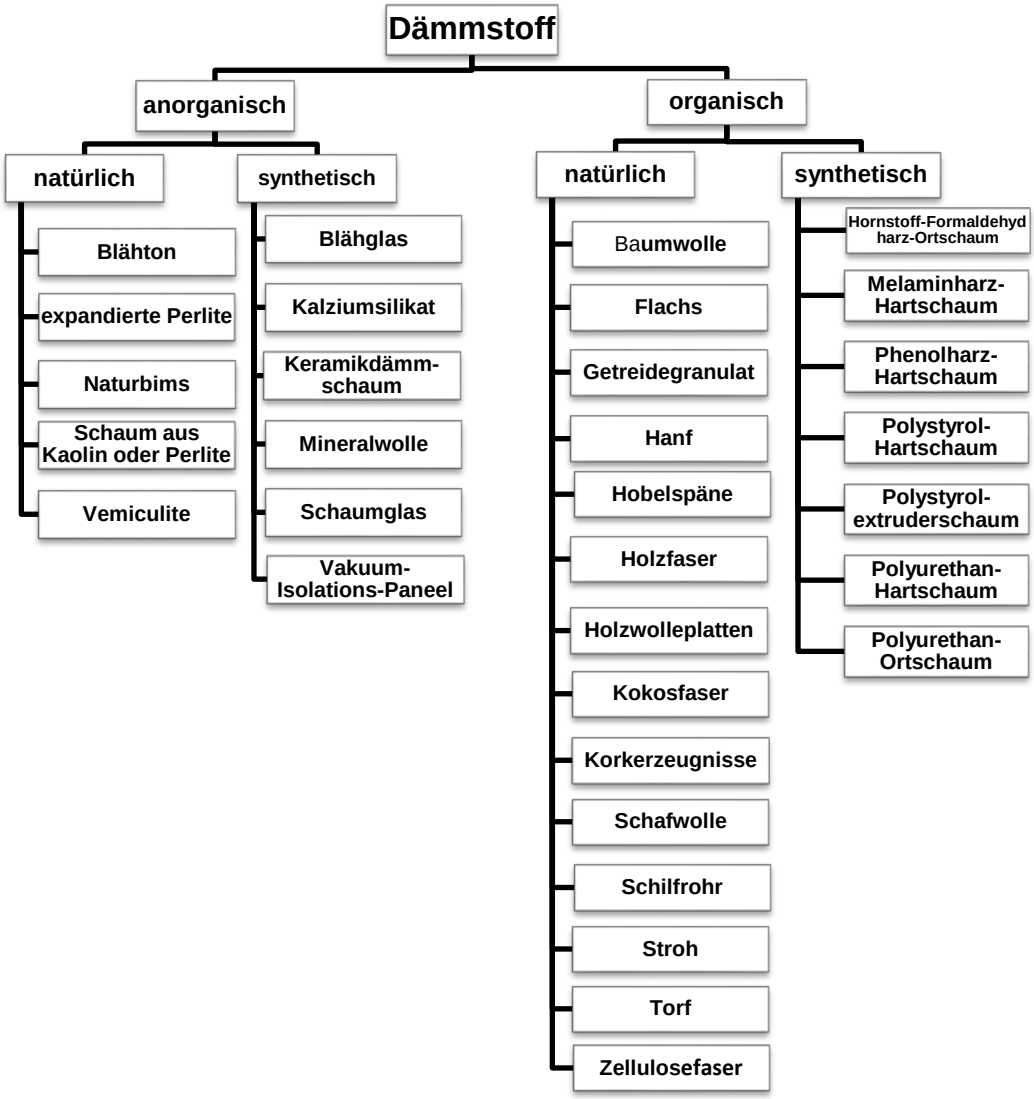


Abbildung 3.1: Einteilung unterschiedlicher Dämmstoffe.

In Anlehnung an [Hausladen & Tichelmann 2009]

Die Wärmeleitfähigkeit von dämmenden Baustoffen, welche im Außenwandbereich Einsatz finden, ist in Abbildung 3.2 dargestellt. Die Abbildung verdeutlich, dass es schwierig ist einem Dämmstoff bzw. Baustoff einen konkreten Wert der Wärmeleitfähigkeit zuzuordnen. Werden in Folge Wärmeleitfähigkeiten von Dämmstoffen angegeben bzw. für Berechnungen herangezogen, handelt es sich dabei um Werte, die vielfach in der Literatur den jeweiligen Dämmstoffen zugeordnet werden, oder von Herstellerangaben stammen. Es sei bereits hier darauf hingewiesen, dass die verwendeten Werte lediglich als Richtwerte anzusehen sind und nicht für einen bestimmten Stoff alleine gültig sind.

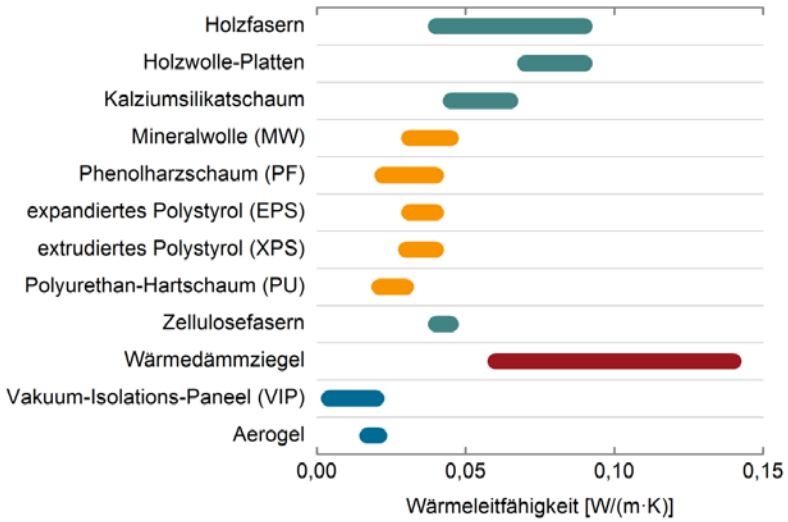


Abbildung 3.2: Bereich der Wärmeleitfähigkeit von dämmenden Baustoffen [Sprengard 2012]

Im Rahmen dieser Studie sind ausschließlich Dämmstoffe, welche bei Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) Einsatz finden, von Interesse. Folglich werden lediglich jene Dämmstoffe, die bei WDVS üblicherweise verwendet werden, unter Punkt 3.2 näher betrachtet. Bevor dies allerdings geschieht wird auf die Begrifflichkeit Wärmedämmverbundsystem näher eingegangen werden.

3.1.2 Wärmedämmverbundsystem

Wärmedämmverbundsysteme (WDVS) bestehen normalerweise aus einer Dämmschicht, einer gewebearmierten Putzschicht und einer Deckschicht, die aus unterschiedlichen Putzarten, Riemchen etc. bestehen kann. Die Verbindung zwischen Dämmung und der Fassade kann durch Verdübelung und/oder Verklebung hergestellt werden. Der Verbund zwischen Fassade und Dämmung kann allerdings auch durch Schienensysteme begründet sein. Schienensysteme finden vorzugsweisen Einsatz, wenn bei der vorhandenen Fassade große Unebenheiten vorhanden sind [Schild & Weyers 2003].

Nach dem Abbinden einer u.U. vorhandenen Verklebung der Dämmschicht zur Fassade wird auf die Dämmschicht eine Putzschicht aufgebracht. Zum Zweck der Armierung ist ein Glasfasergewebe in die Putzschicht eingebettet. Nach Abbindung und Trocknung des Armierungsputzes kann durch das Aufbringen der Deckschicht das WDVS vervollständigt werden. Der Systemaufbau eine WDVS ist in Abbildung 3.3 ersichtlich.

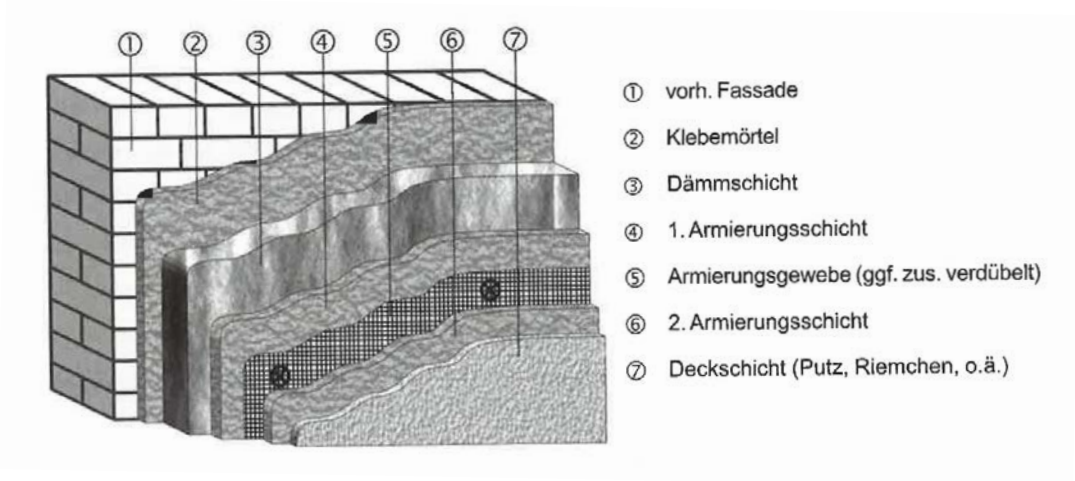


Abbildung 3.3: Systemaufbau eines Wärmedämmverbundsystems
[Schild & Weyers 2003]

3.1.3 Energetische Amortisation von Wärmedämmung

Das Ziel von WDVS liegt in der Reduzierung des Energiebedarfs und damit der Einsparung von natürlichen Ressourcen. Bei Betrachtung der energetischen Amortisation wird der Energieaufwand bei der Herstellung dem Einsparungspotenzial bei der Anwendung gegenübergestellt. Das Einsparungspotenzial ist abhängig von der Dämmstoffdicke, den wärmeschutztechnischen Materialeigenschaften, dem energetischen Zustand vor der Dämmmaßnahme und dem Temperaturgefälle der zu separierenden Bereiche [Sprengard et al 2012].

Das Temperaturgefälle der zu separierenden Bereiche ist relevant für den auftretenden Wärmefluss in den Bauteilen. Bei Außenwänden (beheizter Wohnraum zu Außenbereich) ist mit einem hohen Wärmestrom, im Vergleich zu etwa einer Kelleraußenwand bei einem unbeheizten Keller zu Erdreich, zu rechnen. Dadurch ergeben sich auch höhere absolute Einsparungsmöglichkeiten [Sprengard et al 2012].

Der energetische und stoffliche Aufwand bei der Produktion von Dämmstoffen ist annähernd linear. Allerdings wird das erreichbare Einsparungspotenzial mit Zunahme der Dämmstoffdicke kleiner. Grundlegend hierfür ist, dass der U-Wert als Funktion der Dämmstoffdicke eine Hyperbel darstellt ($U \sim \lambda/d$). Infolge nimmt die Dauer der energetischen Amortisation mit steigender

Dämmstoffdicke zu [Sprengard et al 2012].

Der Zusammenhang zwischen Dämmstoffdicke und erreichbaren U-Wert ist in Abbildung 3.4 ersichtlich. Die zugrundeliegenden Werte sind dabei eine Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes von λ = 0,04 W/(m.K) und ein U-Wert des Wandbauteils vor der Dämmung von 1,4 W/(m^2.K).

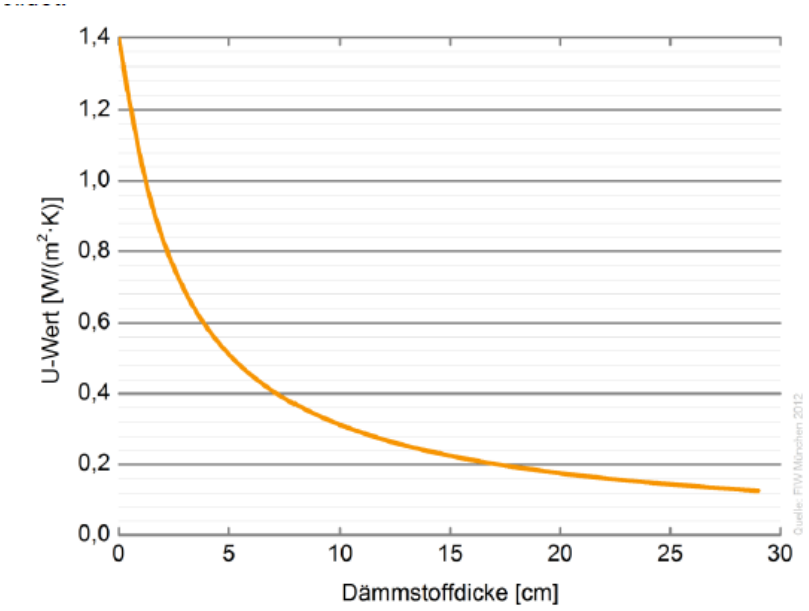


Abbildung 3.4: Einfluss der Dämmstoffdicke (λ = 0,04 W/(m.K)) auf den U-Wert eines Wandbauteils mit einem U-Wert von 1,4 W/(m^2.K) des Rohbauteils
[Sprengard et al 2012]

Da es Dämmstoffe mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten gibt, könnte auch eine Betrachtung, welchen Einfluss die Wärmeleitfähigkeit auf die benötigte Dämmstoffdicke zur Erreichung eines bestimmten U-Wertes hat, von Interesse sein.

In Abbildung 3.5 ist grafisch dargestellt, welche Dämmstoffstärke zur Erreichung eines U-Wertes von 0,35 W/(m^2.K), 0,25 W/(m^2.K) und 0,1 W/(m^2.K) benötigt wird. Als Ausgangs-U-Wert wurde 1,2 W/(m^2.K) gewählt, dies entspricht dem Default-Wert einer Außenwand von EFH und MFH ab 1960 nach der OIB Richtlinie 6 - Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden aus dem Jahr 2011. Als erster Ziel-U-Wert wurde 0,35 W/(m^2.K) gewählt, da dieser Wert beim Neubau oder der Renovierung von Wänden gegen Außenluft nach der OIB Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz nicht überschritten werden darf. Der zweite Ziel-U-Wert wurde mit 0,25 W/(m^2.K) angesetzt, da dies dem Grenzwert für der Salzburger Wohnbauförderung entspricht. Der dritte Ziel-U-Wert wurde mit 0,1 W/(m^2.K) angesetzt und wäre für Passivhäuser relevant. Die Wärmeleitfähigkeiten wurden im Bereich von 0,014 W/(m.K) (z.B. Aerogel) bis 0,050

W/(m.K) betrachtet. Es sei allerdings angemerkt, dass nicht jeder beliebige λ-Wert und jede beliebige Dämmstoffdicke am Dämmstoffmarkt erhältlich ist.

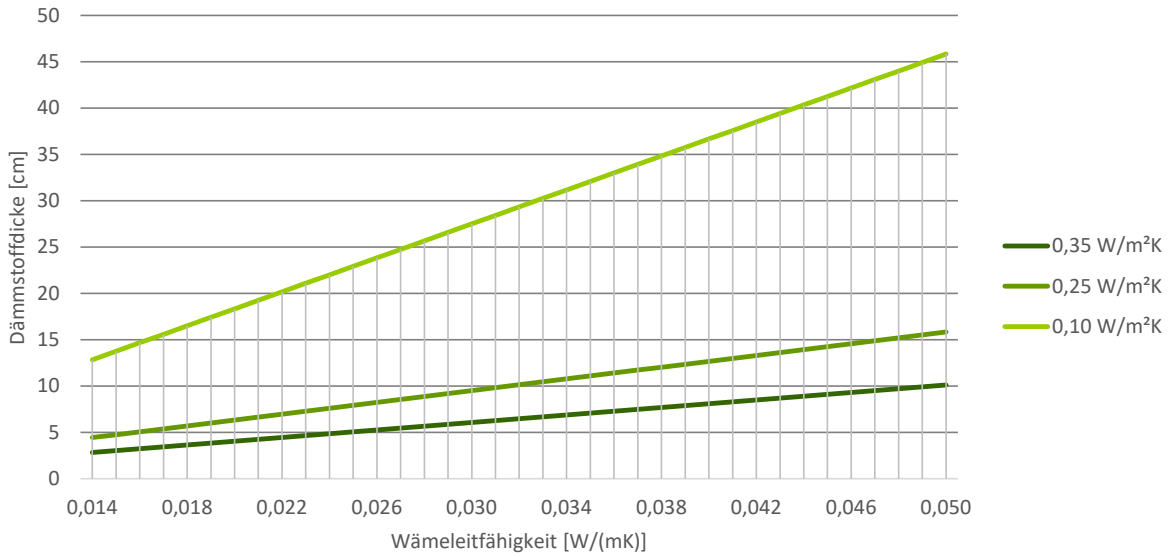


Abbildung 3.5: Erforderliche Dämmstoffdicke zur Erreichung eines U-Wertes von 0,35, 0,25 bzw. 0,1 W/m²K bei einem Wandbauteil mit einem ursprünglichen U-Wert von 1,2 W/m²K in Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials

[Eigene Darstellung]

Sprengard et al (2012) verglichen die energetische Amortisationszeit unterschiedlicher Dämmstoffe für Bauteile mit einem Ausgangs-U-Wert von 1,4, 1,0 und 0,6 W/(m^{2}·K) und einem Ziel-U-Wert von 0,24 – 0,1 W/(m^{2}·K). Der Vergleich zeigt deutlich, dass sich die Amortisationszeit bei niedrigerem Ausgang-U-Werten deutlich erhöht. Die Amortisationszeiten lagen im Bereich von wenigen Monaten bis einigen Jahren, jedenfalls immer deutlich unter der technischen Nutzungsdauer. Die meisten Dämmstoffe erreichten bei den ungünstigsten Bedingungen die energetische Amortisation in einer Zeitspanne unter 5 Jahren. Haupteinflussfaktoren auf die energetische Amortisation sind die Dämmstoffdicke, der Primärenergieinhalt und die Rohdichte des Dämmstoffes.

Als Richtwert der energetischen Amortisation findet man oftmals Angaben von weniger als 2 Jahren, vgl. bspw. Schittich (2013) und Lützendorf (2013). Hervorgehoben sei nochmals, dass die Amortisation vom eingesetzten Dämmmaterial und der Energieeinsparung, begründet durch die Dämmung, abhängt.

3.2 Dämmstoffe von Wärmedämmverbundsystemen

Wie bereits zuvor erläutert, lassen sich Dämmstoffe entsprechend ihrer Rohstoffbasis unterteilen. Infolge werden Dämmstoffe, welche bei WDVS Einsatz finden, in anorganische, synthetisch organische und natürlich organische Dämmstoffe kategorisiert.

Neben allgemeinen Erläuterungen werden in diesem Kapitel auch die Rohstoffgrundlagen von ausgewählten Dämmstoffen, der Produktionsprozess, Einbau und die Nutzung von ausgewählten Dämmstoffen in Hinblick auf die Wirkung auf den Menschen sowie auf die Natur betrachtet. Diese Erkenntnisse stammen von Mötzel et al (1999) und Mötzel et al (2008), sofern keine andere Quelle angeführt ist. Die Wirkung auf Mensch und Umwelt wird ausschließlich von jenen Dämmstoffen erläutert, die in weiterer Folge auch in Zusammenhang mit den OI3-Indikatoren betrachtet werden, siehe Punkt 3.5.1.

3.2.1 Anorganische Dämmstoffe

Der Gruppe der anorganischen Dämmstoffe gehören Mineralwolledämmstoffe und Mineralschaum an. Als besonderes Merkmal von anorganischen Dämmstoffen ist die Tatsache anzusehen, dass sie nicht brennbar und nicht biologisch abbaubar sind [Riedel & Frössel 2007].

3.2.1.1 Mineralwolle (MW)

Abbildung 3.6 Glaswolle (links) und Steinwolle (rechts) [Pfundstein et al 2008]

Mineralwolle (MW) - Dämmstoffe bestehen aus anorganischen Fasern und lassen sich weiter in Glaswoll- und Steinwollprodukte unterteilen. Im Bereich von WDVS kommen vorzugsweise Dämmplatten aus Steinwolle zum Einsatz [Riedel & Frössl 2007].

Grundlage für die Produktion von Steinwolle bilden unterschiedliche Gesteinsarten, wie etwa Diabas, Basalt, Dolomit oder Kalkstein. Das Gestein wird bei Temperaturen im Bereich von etwa 1500°C geschmolzen und im Düsenverfahren zerfasert. Bei der Produktion von Steinwolle werden Kunstharze als Bindemittel und Mineralöle, zum Zweck der Imprägnierung und Bindung des Staubes, hinzugefügt. Die Gesteinsschmelze wird nach Zugabe der genannten Stoffe mit Wasser abgeschreckt, nachdem es erstarrt ist als Wollvlies aufgenommen und bei rund 250°C ausgehärtet. Für die Einstufung der Produktqualität sind Verdichtung, Bindemittelgehalt, Faserfeinheit und Faserorientierung von entscheidender Bedeutung [Riedel & Frössl 2007].

Bei der Glaswolleproduktion finden die Stoffe Quarzsand, Soda, Kalkstein und bis zu 70 % Altglas Einsatz. Wie bei der Herstellung von Steinwolle wird auch bei der Glaswolle eine Schmelze erzeugt, welche anschließend zu Fasern geschleudert wird. Zur Gewährleistung der Formstabilität werden bis zu 7% Kunstharze als Bindemittel beigemengt. Zusätzlich können Öle zur Reduktion des Staubanteiles und wasserabweisende Stoffe beigefügt sein [Nierobis 2003].

Gekennzeichnet ist MW durch seine Alterungsbeständigkeit, die Nicht-Brennbarkeit und Formbeständigkeit. Als weitere Eigenschaft ist zu nennen, dass MW diffusionsoffen ist. Der Wasserdampfdiffusionswiderstand liegt bei 1 - 2 [Riedel & Frössl 2007]. Begründet durch die Nicht-Brennbarkeit ist MW den Euroklassen A1 bzw. A2 (kein Beitrag zum Brand) zuzuordnen [Fouad 2013].

Entsprechend der Faserorientierung können MW-Dämmplatten mit Fasern, welche überwiegend parallel zur Oberfläche orientiert sind und MW-Lamellendämmplatten, deren Fasern hauptsächlich vertikal zur Oberfläche orientiert sind, unterschieden werden. MW-Dämmplatten mit stumpfer Kante werden vorzugsweise im Format 80 x 62,5 cm und MW- Lamellendämmplatten im Format 120 x 20 cm produziert [Riedel & Frössl 2007].

Die Rohstoffgrundlage von Steinwolle Diabas, Basalt oder Dolomit kommen natürlich vor und werden im Tagebau gewonnen. Es gibt ein ausreichendes Vorkommen an Gestein, beim Abbau und Transport von diesem kommt es zu Lärm- und Staubemissionen.

Im Produktionsprozess von Steinwolle wird normalerweise harnstoffmodifiziertes Phenol-Formaldehyd-Harz zur Formstabilisierung eingesetzt. Phenol-Formaldehyd-Harz ist ein Kunststoff, welcher durch die Kondensation von Phenol mit Formaldehyd gebildet wird. Harnstoff entsteht durch die Umsetzung von Kohlendioxid mit Ammoniak. Die Emissionen, welche bei der Formaldehyd- und Harnstoffherstellung entstehen, stellen eine Belastung für Wasser und Luft dar. Formaldehyd ist ein starkes Allergen und führt zu Reizungen der Schleimhaut, Atembeschwerden, Unwohlsein und Kopfschmerzen. Ebenso ist Phenol als gesundheitsschädlich einzustufen. Der Herstellungsprozess von Steinwolle ist als energieintensiv anzusehen.

Beim Hantieren mit Steinwolle kann es zur Freisetzung von lungengängigen Fasern kommen, weshalb der Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung empfohlen wird.

Bei der Produktion von Glaswolle werden Grundstoffe der Glaserzeugung bzw. Altglas eingesetzt. Sämtliche Glaskomponenten mit der Ausnahme von Soda und Natriumnitrat, welche synthetisch produziert werden, werden als natürliche Ressourcen im Tagebau abgebaut. Folglich gibt es ausreichendes Vorkommen der benötigten Ressourcen. Im Zusammenhang mit der Herstellung von Soda sei allerdings erwähnt, dass der Prozess als energieintensiv einzustufen ist. Die Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt im Zusammenhang mit der Herstellung und den Einsatz des Bindemittels Phenolformaldehydharz gleichen den, zuvor beschriebenen, der Steinwolle. Lediglich bezogen auf den Einsatz von Altglas bei der Glasfaserherstellung sei erwähnt, dass dies

der Einsparung von Primärrohstoffen und Senkung des Produktionsenergiebedarfs dient, allerdings auch zusätzliche Transportwege verursachen kann.

3.2.1.2 Mineralschaum-Dämmplatten (MS)

Abbildung 3.7: Mineralschaumdämmplatte [BauNetz o.J.]

Die Herstellung von Mineralschaumdämmplatten (MS) ähnelt dem Herstellungsverfahren von Porenbeton. Dabei werden die Grundstoffe Quarzmehl, die mineralischen Bindemittel Kalk und Zement, Porenbildner, Hydrophobierungsmittel sowie Wasser miteinander vermengt und aufgeschäumt. Nach 24 bis 48 Stunden Reife werden die Blöcke geschnitten und bei einem Druck von 11 bar und einer Temperatur von ca. 190°C autoklaviert. Nach der Dampfhärtung folgt die Trocknung und Verpackung des Dämmprodukts [Riedel & Frössl 2007].

Mineralschaum-Dämmplatten sind faserfrei. Weitere Eigenschaften sind Diffusionsoffenheit und Wasserabweisung, begründet durch die Massehydrophobierung [Riedel & Frössl 2007, S. 96]. Mineralschaum als anorganischer Dämmstoff ist nicht brennbar und gehört der Euroklasse A1 an [Fouad 2013].

Produkttechnisch sind Plattenformate von 580 x 380 bzw. 600 x 390 mm im Handel erhältlich. Weiters gibt es Einschränkungen bei der Kantausprägung, es gibt lediglich MS mit stumpfen Kanten [Riedel & Frössl 2007].

Die Umweltbelastungen, welche mit der Mineralschaumproduktion einhergehen, stammen hauptsächlich von der Herstellung der Vorprodukte Zement und Branntkalk. Weiters ist der Einsatz von Aluminiumpulver als ein möglicher porenbildender Zuschlagstoff erwähnenswert. Beim Hantieren mit Aluminiumpulver besteht erhöhte Brand- und Explosionsgefahr, solange es nicht stofflich, beispielsweise in Pasten oder Pellets, gebunden ist. Bei der Verarbeitung von Mineralschaumplatten muss, begründet durch die Staubbildung, auf persönliche Schutzausrüstung geachtet werden.

3.2.1.3 Schaumglas (CG)

Abbildung 3.8: Schaumglas [Pfundstein et al 2008]

Schaumglas (CG) besteht aus silikatischem Glas, welches durch Zugabe von Treibmitteln aufgeschäumt wird. Die Grundlage für die Schaumglasherstellung stellt üblicherweise Quarzsand dar, welcher unter Zugabe von Zusätzen zu Glas geschmolzen wird. Das geschmolzene Glas wird nach der Abkühlung zerkleinert, zu Pulver gemahlen und dem Glaspulver wird Kohlenstoff beigemischt. Beim in Folge stattfindenden Erhitzen (über 1.000 °C) oxidiert der Koh-

lenstoff und bildet Gasblasen. Dadurch wird der Aufschäumprozess initiiert. Im Rahmen der Herstellung entstehen geringfügige Mengen an Schwefelwasserstoff, die in den Zellen verbleiben.

Gekennzeichnet ist Schaumglas durch eine hohe Druckfestigkeit, Formstabilität, und Frostbeständigkeit. Weiters ist dieser Dämmstoff gegen Insekten, Nagetiere, Fäulnis und Verrottung beständig [Heid & Reith 2010]. Schaumglas ist der europäischen Baustoffklasse A1 (kein Beitrag zum Brand) zuzuordnen [Fouad 2013].

3.2.2 Synthetisch organische Dämmstoffe

Die bedeutendsten Vertreter von synthetisch-organischen Dämmstoffen sind Kunststoff-Hartschäume, welche auf Polystyrol, Polyurethan und Phenolharz basieren. Im Gegensatz zu anorganischen Dämmstoffen sind synthetisch-organische Dämmstoffe brennbar [Riedel & Frössel 2007].

3.2.2.1 Expandierter Polystyrol (EPS)

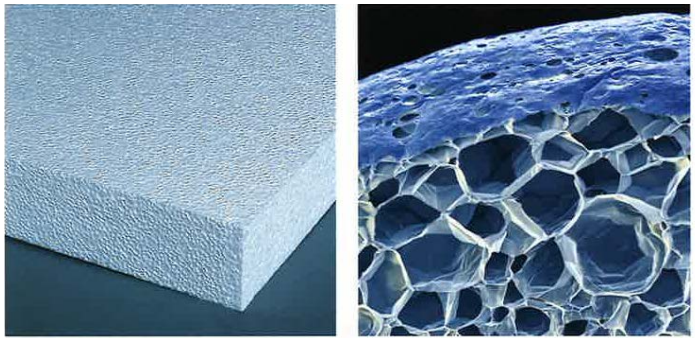


Abbildung 3.9: Expandierter Polystyrol [Pfundstein et al 2008]

Die Rohstoffgrundlage von Expandierten Polystyrol-Hartschaum (EPS) stellt Erdöl dar. Durch Destillationsprozesse wird aus Erdöl zu Beginn Reinstyrol und in weiterer Folge Polystyrol gewonnen. Ein weiterer Prozessschritt liegt in der Erhitzung des Ausgangsstoffes mit Wasserdampf sowie in der Verschäumung des Polystyrolgranulats unter Nutzung des Treibmittels Pentan. Bei der in Folge stattfindenden Zwischenlagerung findet ein großer Teil des Nachschwindens statt. Daraufhin werden die Perlen mit Wasserdampf auf Temperaturen > 90 °C erwärmt. Dies führt dazu, dass sich die Perlen um das 20- bis 50-fache, bezogen auf ihr ursprüngliches Volumen, aufblähen und miteinander zu einem stabilen Schaumstoffgefüge verschweißen. Infolge werden die EPS-Hartschaumplatten, vorzugsweise im Format 100 x 50 cm bzw. bei Schienenbefestigung 50 x 50 cm, aus den Schaumstoffblöcken geschnitten. [Riedel & Frössl 2007]

Als bedeutendste Eigenschaften von EPS ist die Unverrottbarkeit, Fäulnisresistenz sowie die Beständigkeit gegen saure und alkalische Medien zu nennen. Weiters ist EPS durch eine geringe Wasseraufnahme, hohe Zugfestigkeit vertikal zur Plattenebene und Nicht-Beständigkeit gegen Lösemittel und UV-Strahlung gekennzeichnet [Riedel & Frössl 2007].

Bezogen auf die brandschutztechnischen Eigenschaften gehört EPS der Euroklasse E (hinnehmbares Brandverhalten) an [Fouad 2013].

Bei EPS-Hartschaumplatten sind eine Vielzahl unterschiedlicher Varianten hinsichtlich ihrer Ober-

flächenbeschaffenheit und Kantenausbildung am Markt erhältlich. Bezogen auf die Oberflächenbeschaffenheit sind in diesem Zusammenhang EPS-Hartschaumplatten mit planer Oberfläche, waffelförmiger Profilierung, wellenförmiger Profilierung und Profilierungen für die Abstützung von Riemchen zu nennen. Im Hinblick auf die Kantenausbildung ist zwischen stumpf aneinanderstoßenden Kanten, Nut und Feder, Nut und Feder-Bausatz und umlaufende Nut und Einfräsung, welche bei Schienensystemen Einsatz findet, zu unterscheiden. Am meisten eingesetzt werden EPS-Hartschaumplatten mit stumpfen Kanten. [Riedel & Frössl 2007].

EPS besteht aus 91 - 94 M% Polystyrol. Beim Herstellungsverfahren finden die Stoffe Ethylbenzol (aus Ethylen und Benzol), Pentan und in der Vergangenheit Hexabromcyclododecan (HBCD) Einsatz.

Ethylen wird lediglich aus nicht erneuerbaren Rohstoffen insbesondere Rohöl und Erdgas gewonnen. Erdöl wird in der Raffinerie mittels Destillationen in unterschiedliche Rohölfraktionen geteilt. Das raffinierte Naphtha wird im Rahmen des Crackprozesses bei sehr hohen Temperaturen chemisch modifiziert, in Folge abgekühlt und in diverse Wasserstofffraktionen wie bspw. Ethylen und Polypen unterteilt. Benzol wird neben der Aromatenfraktion des Reformprozesses aus dem Pyrolysegas des Crackprozesses gewonnen. Bezogen auf die Wirkung auf Mensch und Natur sei erwähnt, dass Erdöl als fossile Ressource nur begrenzt verfügbar ist. Die Erdölbereitstellung ist mit einem hohen Einsatz von Energie und Chemikalien verbunden und benötigt eine gute Infrastruktur. Wasserimmissionen, Kohlenstoffemissionen und Abfälle sind im Zusammenhang mit den Prozessen in der Raffiniere und dem Streamcracker hervorzuheben. Weiters sei erwähnt, dass mit hochexplosiven Stoffen gearbeitet wird, d.h. dass die potenzielle Umweltgefährdung bei Unfällen äußerst hoch ist. Es finden auch eine Vielzahl an Hilfsmitteln Einsatz, welche toxikologisch relevant sind. Ethylen ist allerdings human- und ökotoxikologisch nur wenig relevant. Benzol hingegen ist auf der MAK-Wertliste als für den Menschen eindeutig krebsauslösend eingestuft. Weiters kann Benzol Immunsystemdefekte verursachen.

Einen bedeuten Inhaltsstoff von EPS stellt das Treibmittel Pentan dar. Pentan wird in der Regel nach der Raffinierung von fossilen Rohstoffen gewonnen. Pentan weist ein moderates Treibhauspotenzial und ein relativ hohes Ozonbildungspotenzial (bodennahes Ozon) auf. Pentan ist toxikologisch nicht relevant, allerdings hochexplosiv.

Ein Überblick über die Emissionen bedeutender Treibhausgase ist in Tabelle 3.1 dargestellt. Es zeigt sich, dass die durch EPS- Herstellung sowie Anwendung verursachten Pentan-Emissionen einen Anteil von 0,000009 % der angeführten Emissionen ausmacht. In der Atmosphäre ist der messbare Anteil an Pentan 2 ppb (parts per billion). Die Halbwertszeit von Pentan ist mit 10 -15 h äußerst gering. Begründet durch die geringe Stabilität gelangt Pentan nicht in höhere Luftschichten und kann dadurch die Ozonschicht nicht schädigen, das Ozonschädigungspotenzial (ODP) ist 0. [IVH o.J.b]

Großteils entweicht Pentan bei der EPS-Herstellung [Riebler o.J.]. Pentan ist in das Polystyrolgranulat einpolymerisiert und verdampft bei der Verschäumung bei Temperaturen über 90 °C [Nierobis 2003].

Neben dem Herstellungsprozess kommt es auch zu Pentan-Emissionen bei der Lagerung und Verarbeitung von EPS. So finden sich Sicherheitshinweise (vgl. BASF 2014), dass durch ausdiffundiertes Treibmittel zündfähige Treibmittel-Luftgemische entstehen können.

Tabelle 3.1: Treibhausgasemissionen
[IVH, o.J.b]

Stoff	jährl. Emission in 100 Mio. t	Anteil	Quelle
Kohlendioxid	8300	99.41 %	Atmung, biol. Abbau, Meer, Verbrennung fossiler Rohstoffe
Kohlenmonoxid	34	0,41 %	Verbrennung, Oxidation v. KW in der Atmosphäre
Methan	5	0,06 %	Sümpfe, geotherm. Aktivität, Landwirtschaft, Termiten
sonstige Kohlenwasserstoffe	10	0,12 %	Bäume (Terpene), Kfz., Lösemittel
Pentan	0.00075	0.000 009 %	%Herst. und Verarb. von EPS

Grundstoff für HBCD stellt Butadien, welches ein Produkt des Steamcracking-Prozesses ist, dar. Butadien ist entsprechend der MAK-Liste einen krebserregenden Arbeitsstoff. Mit Hilfe der Katalysatoren Chrom, Nickel und Titan wird Cyclododecatrien (CDT) gewonnen, welches in weiterer Folge zu HBCD bromiert wird. Die exakte Zusammensetzung von HBCD ist abhängig vom Herstellungsverfahren.

HBCD ist in die REACH Chemikalienverordnung der EU aufgenommen worden, und durfte nach dieser Verordnung nur noch bis August 2015 eingesetzt werden. Weiters ist dieser Stoff in die Stockholm-Konvention aufgenommen worden. Nach einer Übergangsfrist bis November 2014 ist weltweit ein Verwendungsverbot vorgesehen. Nach den Kriterien der REACH-Verordnung wird HBCD als ein besonders besorgniserregender Stoff eingestuft. Grundlegend hierfür ist neben der Tatsache, dass er für Gewässerorganismen toxisch ist, dass er persistent ist, sich in Lebewesen anreichert (bioakkumulierend) und ein hohes Ferntransportpotential aufweist. Man konnte HBCD bereits im arktischen Raum bei Fischen, Meeressäugetieren und Raubvögeln nachweisen. Ebenso wurde HBCD in geringer Konzentration in der Muttermilch (0,13 bis 5,4 ng HBCD/g Milchfett) vorgefunden. Diese Werte werden allerdings nach der europäischen Risikobewertung nicht als gesundheitlich bedenklich angesehen. [Koch-Jugl et al 2014]

EPS mit dem Flammschutzmittel HBCD wird als nicht gefährlicher Abfall eingestuft. Der HBCD-Anteil beträgt etwa 0,7 Gew.% [IVH 2013]. Nähere Information zu Verwertung- und Entsorgungsmöglichkeiten finden sich unter Punkt 3.6.3.2.

Laut dem Industrieverband Hartschaum (2013) konnte in Studien nachgewiesen werden, dass HBCD weder ausgast noch ausgewaschen wird. Nach Koch-Jugl et al (2014) kann HBCD in geringen Ausmaß aus den EPS-Platten austreten, allerdings hat dies nach dem heutigen Kenntnisstand keinen negativen Effekt auf die Gesundheit. Die Gefahr der Auswaschung bewerten die Autoren ebenfalls gering. Nach ihrer Auffassung wären selbst bei ungeschützt angebrachten Dämmstoffen in der Umgebung kaum akute Umweltwirkungen zu erwarten, da HBCD nur wenig wasserlöslich ist und nur in geringen Ausmaß in den Dämmstoffen vorhanden ist.

Nach dem EPS Verband Schweiz (2013) ist ein polymeres Flammschutzmittel bekannt, das den Einsatz von HBCD bei EPS ersetzen kann. Das neue Flammschutzmittel ist weder toxisch noch bioakkumulierbar und wird in der Gegenwart bei EPS eingesetzt.

Neben den hohen Bedarf an Energie, Chemikalien und Infrastruktur seien noch die Kohlenwasserstoffemissionen in der Luft erwähnt. Nach Steck (2014) stellt Styrol ein Nervengift dar, welches unter Verdacht steht krebsauslösend zu sein. Bereits kleine Konzentrationen reizen Augen und Nase, über die Haut aufgenommen kann es zu Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit und Erbrechen führen. In den Werken kommt es zur Geruchsbelästigung durch das Styrol und zum Teil auch zur Lärmbelästigung.

EPS kann mit einer Säge als auch mit einem Heißdraht geschnitten werden. Bei Verwendung eines Heißdrahts kommt es zu hohen Emissionen an Styrol, weshalb dieser nur im Freien verwendet werden soll.

3.2.2.2 Extrudierter Polystyrolschaum (XPS)

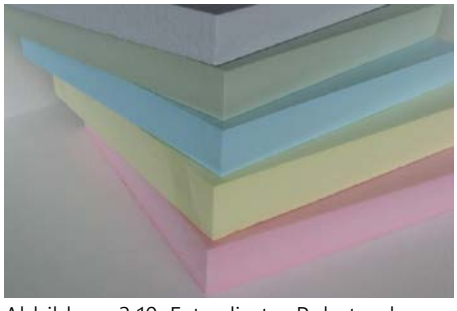


Abbildung 3.10: Extrudierter Polystyrol [Sprengard 2012]

Extrudierter Polysytrolschaum (XPS) wird durch Extrudieren von Polystyrolgranulat unter Zusatz eines Treibmittels hergestellt. Übliche Treibmittel hierfür stellten in der Vergangenheit HFCKW, HFKW dar. Angemerkt sei, dass in Österreich der Einsatz von HFCKW seit dem Jahr 2000 nicht mehr zulässig ist [IBO 2000]. Heutzutage wird vor allem CO_2 als Treibmittel bei der XPS-Herstellung verwendet [Fouad 2013].

Das Hauptanwendungsgebiet von XPS ist die Wärmedämmung von Wänden gegen Erdreich im Außenbereich bzw. der Bodenplatte gegen Erdreich außerhalb der Abdichtung [Riedel & Frössl 2007].

Bezogen auf den Brandschutz ist XPS der Euroklasse E (hinnehmbares Brandverhalten) zuzuordnen [Fouad 2013].

3.2.2.3 Kapillarplatten aus Polycarbonat (PC)

Unter Kapillarplatten aus Polycarbonat (PC) ist ein Dämmstoff aus Kunststoff zu verstehen, welcher für Sonnenstrahlung durchlässig ist. PC-Kapillarplatten bilden einen Teil eines transparenten Wärmedämm-Verbundsystems (TWDVS) und sind seit Mitte der 90er Jahre des vorherigen Jahrhunderts am Markt erhältlich. Die Besonderheit des TWDVS liegt darin, dass es nicht nur die Transmissionsverluste der Außenwand von innen nach außen verringert, wie es bei konventionellen WDVS auch der Fall ist, sondern auch die auf die Fassade auftreffende Sonnenstrahlung zum Zweck der Raumheizung nutzt [Riedel & Frössl 2007].

Wenn Sonnenstrahlung auf die Wandoberfläche auftrifft, wird diese erwärmt. Die absorbierte Energiemenge und die Temperatur der Wandoberfläche sind abhängig vom Absorptionsgrad der Außenwandoberfläche. Ein Großteil der absorbierten Wärmemenge gelangt bei konventionellen Systemen nicht in das Gebäudeinnere und wird wieder an die Außenluft abgegeben. Bei transparenten Wärmedämmungen kann die Abgabe der absorbierten Wärme an die Außenluft reduziert werden. Eine Wand mit transparenter Wärmedämmung fungiert dabei wie ein Sonnenkollektor und produziert Nutzwärme für das Gebäude. Von Bedeutung ist, dass die absorbierte solare Energie mit einer zeitlichen Verzögerung von mehreren Stunden zur raumseitigen Oberfläche der Außenwand vordringt und damit eine Überwärmung vermieden wird. Die Phasenverschiebung zwischen der maximalen Temperatur an der äußeren und inneren Oberfläche der Außenwand hängt von der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmespeicherfähigkeit des Wandmaterials ab [Fischer et al 2008] Ein Vergleich der Wirkungsweisen der opaken und transparenten Wärmedämmung ist in Abbildung 3.11 ersichtlich.

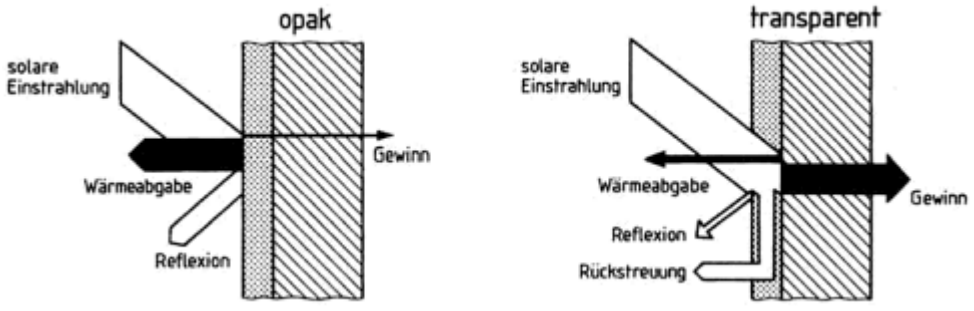


Abbildung 3.11: Wirkungsweise der transparenten im Vergleich zur opaken Wärmedämmung [Fischer et al 2008]

3.2.3 Natürlich organische Dämmstoffe

Expandierter Kork, Holzfaserdämmstoffe sowie Hanf, Schilf und Stroh sind als bedeutende Vertreter der natürliche-organischen Dämmstoffe zu nennen. [Riedel & Frössel 2007]

3.2.3.1 Expandierter Kork (ICB)

Kork wird von der Rinde der Korkeiche gewonnen. In diesem Zusammenhang wird die Korkeiche alle 9 bis 10 Jahre geschält und die gewonnene Rinde zu einem Granulat zermahlen. Das Granulat wird in Folge zu Blöcken gebacken. Das geschieht unter Zugabe von Wasserdampf und der dabei stattfindenden Freisetzung des Bindemittels Suberin, welche die Rinde beinhaltet [Riedel & Frössl 2007, S. 92].

Abbildung 3.12 :Korkdämmplatte [Dumke Group 2014

Korkdämmplatten sind durch eine hohe Wasserdampfdurchlässigkeit, niedriger Wärmeleitfähigkeit sowie eine hohe Druck- und Zugfestigkeit gekennzeichnet [Riedel & Frössl 2007]. Entsprechend der ÖNORM EN 13501-1 Einteilung weist die Korkdämmplatte laut Herstellerangeben [Röfix 2012] ein Brandverhalten der Klasse E (hinnehmbares Brandverhalten) auf.

Hauptsächlich werden Kork-Dämmplatten in die Größe 100 x 50 cm geschnitten. In Hinblick auf die Kantenausprägung werden sowohl stumpfe Kanten als auch Stufenfalzausführungen angeboten [Riedel & Frössl 2007].

Korkdämmplatten bestehen ausschließlich aus der Rinde der Korkeiche. Es gibt neben den hier erläuterten expandierten Kork (Backkork) noch den sogenannten Preßkork, welchen ein Bindemittel (meist PUR) beigemengt wird. Da Preßkork für den Hochbau und WDVS keine Bedeutung hat, wird dieser im Rahmen dieser Arbeit nicht betrachtet.

Die Korkeiche kommt im westlichen Mittelmeerraum vor, dadurch ist der Einsatz von Korkdämmplatten mit einem erheblichen Transportaufwand verbunden. Beim Produktionsprozess wird Heißdampf zum Expandieren eingesetzt. Wenn beim Expandieren die Temperaturen überschritten werden, können polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und Phenole im Produkt enthalten sein, was in Folge zur Geruchsbelästigung führen kann. Korkdämmplatten sollen beim Transport und bei der Lagerung nicht der Nässe ausgesetzt sein, da es ansonsten zur Schimmelbildung kommen kann, welche Allergien auslösen kann.

3.2.3.2 Holzweichfaserdämmstoffe (WF)

Grundstoffe von Holzweichfaser-Dämmstoffen (WF), in Folge auch Holzfaserdämmplatte bezeichnet, bildet v.a. Fichten- und Tannenholz ohne Rinde. Bei der Herstellung von WF sind zwei Verfahren, das Nass- und das Trockenverfahren, zu unterscheiden. Beim Nassverfahren wird das Holz zu Hackschnitzel zerkleinert, mit Wasser vermischt und fein zermahlen. Dem Faserbrei werden Zusatzstoffe zum Zweck der Hydrophobierung und des Flammschutzes beigemengt. Mit Hilfe von Flammsiebmaschinen werden in weiterer Folge die Holzfasern in Form gepresst und bei etwa 200°C im Ofen getrocknet. Die Holzweichfaser-Dämmplatten, welche im Nassverfahren produziert wurden und in WDVS Einsatz finden, bestehen aus 20 mm dicken Einzelplatten, welche mit Leim untereinander verklebt werden [Riedel & Frössl 2007].

Abbildung 3.13: Holzweichfaserdämmplatte [Pfundstein et al 2008]

Im Gegensatz dazu werden die Holzfasern beim Trockenverfahren vorgetrocknet und mit einem Bindemittel, wie etwa Polyurethan, vermischt. Das Holzfaser-Polyurethan-Gemisch wird in Form gepresst und mit einem Dampf-Luft-Gemisch ausgehärtet [Riedel & Frössl 2007].

Als Bindemittel muss allerdings nicht zwangsläufig PUR eingesetzt werden. Das Unternehmen Pavatex verwendet beispielsweise ein Bindemittel auf Polyharnstoffbasis [Pavatex 2014].

Die Produktion im Trockenverfahren ist deutlich energieeffizienter, dabei werden nur etwa 60 % der Energie, im Vergleich zum Nassverfahren verbraucht. Weiters weisen die im Trockenverfahren hergestellten WF eine höhere Festigkeit, geringere Leitfähigkeit und größere Diffusionsoffenheit auf [Gebhardt 2012].

Ebenso ist ein Vorteil beim Trockenverfahren, dass homogene Platten bis zu einer Dicke von etwa 240 mm einschichtig hergestellt werden können, die eine geringere Plattendichte aufweisen [Siempelkamp o.J.].

Das Nassverfahren wird in Europa bereits seit 1932 angewendet, während das Trockenverfahren erst in jüngerer Vergangenheit entwickelt würde [Siempelkamp o.J.]. Die Recherche hatte zum Ergebnis, dass das Trockenverfahren durch die Energieeinsparungen vermehrt an Bedeutung gewinnt.

Als bedeutende Eigenschaften von Holzfaserdämmplatten sind die hohe Wasserdampfdurchlässigkeit von 3 - 5 und die hohe spezifische Wärmespeicherbarkeit c = 2100 J/(kg*K) zu erwähnen [Riedel & Frössl 2007]. Brandschutztechnisch ist WF der Klasse E gemäß der ÖNORM EN 13501 zuzuordnen [Pfundstein et al 2007].

Einsatz finden WF bei WDVS im Kleinformat 1190 x 590 mm und im Großformat 2800 x 1250 mm. Bezogen auf die Kantenausbildung sind sowohl stumpfe Kanten als auch Nut- und Federprofile (beim Kleinformat) erhältlich [Riedel & Frössl 2007].

Zur Herstellung von Holzfaserdämmplatten werden meist Resthölzer der Sägeindustrie sowie Holz, welches bei Durchforstungsarbeiten anfällt, eingesetzt. Holz stellt einen erneuerbaren Rohstoff dar. Der Einsatz von Resthölzern im Produktionsprozess trägt zur nachhaltigen Rohstoffnutzung der Wälder bei.

Zum Zweck der Aktivierung des holzeigenen Lignins (Biopolymere, eingelagert in die Zellwand des Holzes) werden im Produktionsprozess meist Aluminiumsulfate im Ausmaß von 1 bis 3 M% beigegeben. Es gibt zwar ein natürliches Vorkommen an Aluminiumsulfaten (Alaune), allerdings hat der bergmännische Abbau eine übergeordnete Rolle. Die technische Gewinnung dieses Zusatzstoffes bei der Produktion von Holzdämmplatten erfolgt durch die Umsetzung von Bauxit mit Schwefelsäure. Der Reaktionsablauf findet bei 100 °C statt und der Energiebedarf ist vergleichsweise gering. Aluminiumsulfat ist in die Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend) eingestuft.

Die Hydrophobierung der Dämmstoffplatten erfolgt mit Zugabe von Wachsemulsionen im Produktionsprozess. Bei den Wachsemulsionen kann es sich um eine Emulsion von Paraffin in Wasser handeln. Paraffine bestehen aus Wasser, gesättigten Erdölkohlewasserstoffen und kationischen Emulgatoren. Hergestellt werden Paraffine innerhalb eines energieintensiven Prozesses aus Erdöl. Da Paraffine äußerst reaktionsträge sind, können sie als ungiftig angesehen werden. Neben Paraffinen finden allerdings auch Naturwachse zur Hydrophobierung von Holzfaserdämmplatten Einsatz.

Einen weiteren Zusatzstoff bei der Holzfaserdämmplattenproduktion stellt Weißleim dar, welcher eine Dispersion von Polyvinylacetat ist. Weißleim ist praktisch immer weichmacherfrei und wird in die Wassergefährdungsklasse 1 (schwach wassergefährdend) eingestuft. Baubiologisch betrachtet ist Weißleim als Kompromisslösung anzusehen, da er nicht humantoxikologisch ist, allerdings die Gewinnung der Rohstoffe und die Herstellung des Produktes mit Umweltbelastungen einhergehen. Wie bereits zuvor dargestellt findet Weißleim nur beim Nassverfahren Einsatz.

Das Nassverfahren ist ein energieaufwendiger Prozess. Um die Abwassermengen gering zu halten, wird es im geschlossenen Wasserkreislauf durchgeführt. Beim Zerkleinern der Hölzer kommt es zur Staubentwicklung, weshalb Absaugemaßnahmen und Schutzmaßnahmen für ArbeiterInnen notwendig sind. Holzstaub steht unter Verdacht krebserregendes Potenzial zu haben.

3.2.3.3 Holzwolleplatte (WW)

Die Grundlage für die Produktion von Holzwolleplatten (WW) bildet langfaserige längsgehobelte Holzwolle, vorzugsweise von der Fichte. Unter Zusatz von mineralischen Bindemitteln (Magnesit oder Zement) wird das Stoffgemisch unter hohen Temperaturen gepresst und in Folge getrocknet. Abhängig vom gewählten Bindemittel sind WW mehr (Zement) oder weniger (Magnesit) wassersaugend [Hegger et al 2005].

Abbildung 3.14: Holzwolle-verbundplatte mit Steinwolle als Kerndämmung [Pfundstein et al 2008]

Holzwolleplatten sind entsprechend der Euronorm der Klasse Bs1, d0 zuzuordnen [Pfundstein et al 2007].

WW sind gute Putzträger und gut schallabsorbierend, weisen allerdings eher ungünstige Wärmedämmeigenschaft (λ = 0,9 W/(m.K)) auf. Zur Verbesserung der Dämmeigenschaften sind WW auch als Verbundwerkstoff mit einer Kerndämmung, bspw. aus EPS oder MW, am Markt erhältlich [Haefele et al 1996].

3.2.3.4 Hanf

Abbildung 3.15: Hanffaserdämmplatte [Naporo 2014b]

In Abhängigkeit von der Witterungslage wird Hanf ab Mitte August, jedenfalls vor der Samenreife geerntet. Die Vegetationsdauer von Nutzhanf für die Fasergewinnung beträgt 90 - 110 Tage [Holzmann et al 2012]. Der Hektarertrag liegt im Bereich von sechs bis zehn Tonnen Hanffasern [Wilhelm in: Barth 2006].

Nach der Ernte wurde in der Vergangenheit das Hanfstroh zur Tauröste auf dem Feld gelassen. Heutzutage wird der Hanf mit Erntemaschinen geschnitten und das geschnittene Hanfkraut in der Maschine gebrochen und zu Ballen gepresst. Die Faseraufbereitung erfolgt durch Knicken und Schwingen des Hanfkrautes. Dabei werden Bestandteile von Holz und Rinde entfernt sowie Kurz- und Langfasern separiert. Mit Hilfe der Hanfweiche werden die Hanffasern weich und geschmeidig gemacht. Nach dem Kürzen der Fasern in der Schneidemaschine werden die Langfasern parallelisiert und die restlichen Kurzfasern ausgekämmt. Nach der Vermischung mit Stützfasern (Polyesterfasern) wird das Fasergemisch in mehreren Schichten übereinandergelegt [Holzmann et al 2012].

Es gibt allerdings auch Hanffaserplatten ohne künstliche Stützfasern, näheres hierzu findet sich unter Punkt 3.7.2.2.

Ein besonderes Merkmal von Hanf ist, dass er durch seine natürlichen Bitterstoffe und seine Freiheit von Eiweiß keine Nahrungsgrundlage für Tiere und Insekten darstellt [Wilhelm in: Barth 2006]. Nach Pfundstein et al (2007) ist Hanf der Euroklasse E und nach Fouad (2013) den Euroklassen C bis E zuzuordnen. Die Hanffaserdämmplatte von Naporo gehört nach dem Produktdatenblatt [Naporo 2014a] der Klasse E an.

Hauptbestandteile von Hanffaserdämmplatten sind Hanffasern, also nachwachsende Rohstoffe. Pflanzenfasern erneuern sich über einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum in natürlichen Kreisläufen. Durch den Einsatz als Baustoffe wird das der Atmosphäre beim Wachstum/ der Photosynthese entzogene Kohlendioxid als Kohlenstoff auf lange Zeit gebunden. Im Vergleich zu anderer landwirtschaftlicher Produktion ist der Faseranbau mit verhältnismäßig geringen Umweltbelastungen verbunden. Üblicherweise wird Hanf konventionell angebaut, ein biologischer Anbau wäre derzeit nicht wirtschaftlich.

Bei Hanfdämmplatten werden vielfach Kunststofffasern als Stützfasern eingesetzt. Aus technischer Hinsicht ist die Bindung mit Stärke funktional, allerdings weniger wirtschaftlich.

3.2.3.5 Schilf

Abbildung 3.16: Schilfrohr gebündelt [Wimmer et al 2012]

Das Schilfrohr wird nach dem Absterben und Austrocknen geerntet. Nach der Ernte und der Trocknung werden die Schilfrohre sortiert. Für die Produktion von Dämmplatten werden lange, kräftige Schilfrohre eingesetzt. Neben der Tatsache, dass sich möglichst große Luftkammern vorteilhaft auf die Dämmeigenschaften auswirken und lange, kräftige Schilfrohre günstig zu verarbeiten sind, ist auch die Steigerung der Dämmplatten-Stabilität erwähnenswert [Holzmann & Wangelin 2009].

Bei einer einfachen Fabrikationsstraße können während eines 8-stündigen Arbeitstages etwa 300 m² Schilfrohrdämmplatten produziert werden. Bei der Dämmplattenproduktion werden die Schilfrohre in einem Füllschacht in die gewünschte Plattendicke zusammengefasst und anschießend mit Laufdrähten und Drahtklammern verbunden. Üblicherweise sind die Platten 2 und 5 cm dick, wobei Hersteller auf Anfrage oftmals auch höherer Plattenstärken anbieten. Als Ergebnis des Zusammenfügens und des Fixierens der Schilfrohre mit Draht entstehen Endlosplatten, die variabel im gewünschten Maß zugeschnitten werden können. Standardmaße für Schilfdämmplatten liegen bei 1,25 x 1,00 m und bei 1,25 x 2,00 m [Holzmann & Wangelin 2009].

In der Literatur findet man oftmals keine Angabe der Euroklasse für Schilf (vgl. Pfundstein et al 2007 oder Fouad 2013). Nach (Günther o.J.) ist Schilf der Baustoffklasse D (hinnehmbarer Beitrag zum Brand) bis E (hinnehmbares Brandverhalten) zuzuordnen.

Schilfrohrdämmplatten können bei WDVS bis maximal zwei Geschosshöhen verwendet werden und können auch zwei- oder dreilagig in das WDVS integriert sein [Holzmann & Wangelin 2009].

3.2.3.6 Stroh

Als Stroh werden im Allgemeinen gedroschene, trockene Halme und Stängel von Getreide und Faserpflanzen bezeichnet. Wird in Folge von „Stroh“ gesprochen, ist dabei durchwegs Getreidestroh gemeint.

Im Baubereich wird hauptsächlich Weizen-, teilweise Roggenstroh eingesetzt. Begründet durch die geringere Stabilität wird Hafer- und Gerstenstroh weniger verwendet. Die Strohernte erfolgt nach der Kornernte. Dabei wird das am Feld verbliebene Stroh in Ballen gepresst. Von Bedeutung ist hierbei, dass der Feuchtegehalt des Strohs, welches für die bauchtechnische Nutzung vorgesehen ist, 15 M% nicht überschreitet. Entsprechend muss die Witterung und der Tageszeitpunkt der Ernte (bspw. Morgentau) Rücksicht genommen werden. Weiters ist zu beachten, dass nur ein geringer Anteil an Unkraut bei Baustrohballen zulässig ist, der Unkrautbesatz darf 0,5 M% nicht überschreiten. Grundlegend dafür ist, dass Unkräuter oftmals verrottungs- und schädlingsanfällig sind und sich hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Eigenschaften, wie etwa Festigkeit, Dichte und Wärmeleitfähigkeit von Stroh unterscheiden [Holzmann et al 2012].

Beim Pressen der Strohballen ergibt sich die Breite und Höhe der Ballen durch den Querschnitt des Förderkanals der Ballenpresse. Die Länge kann hingegen direkt eingestellt werden. Normalerweise werden die Strohballen mit Bändern aus Kunststoff, wie etwa Polypropylen, gebunden. Allerdings können auch natürliche Faserstoffe, wie Kokos-, Hanf-, Flachs- oder Sisal verwendet werden. Übliche Abmessungen für Strohballen sind in Tabelle 3.2 ersichtlich.

Tabelle 3.2: Durchschnittliche Abmessungen von Baustrohballen
[Holzmann et al 2012]

	Kleinballen	Mittelballen	Großballen
Höhe in cm	32 bis 35	50	70
Breite in cm	45 bis 50	80	120
Länge in cm	50 bis 120	70 bis 240	100 bis 300
Pressdichte in kg/m^3	80 bis 120	180 bis 200	180 bis 200

Für die Außendämmung der Wand unter Putz kann der Dämmstoff Stroh als vorgesetzte Strohballenwand verputzt oder als selbstragende, verputzte Strohballenwand verwendet werden [Holzmann et al 2012].

3.3 Potenziale und Entwicklung des Wärmedämmverbundsystem-Marktes

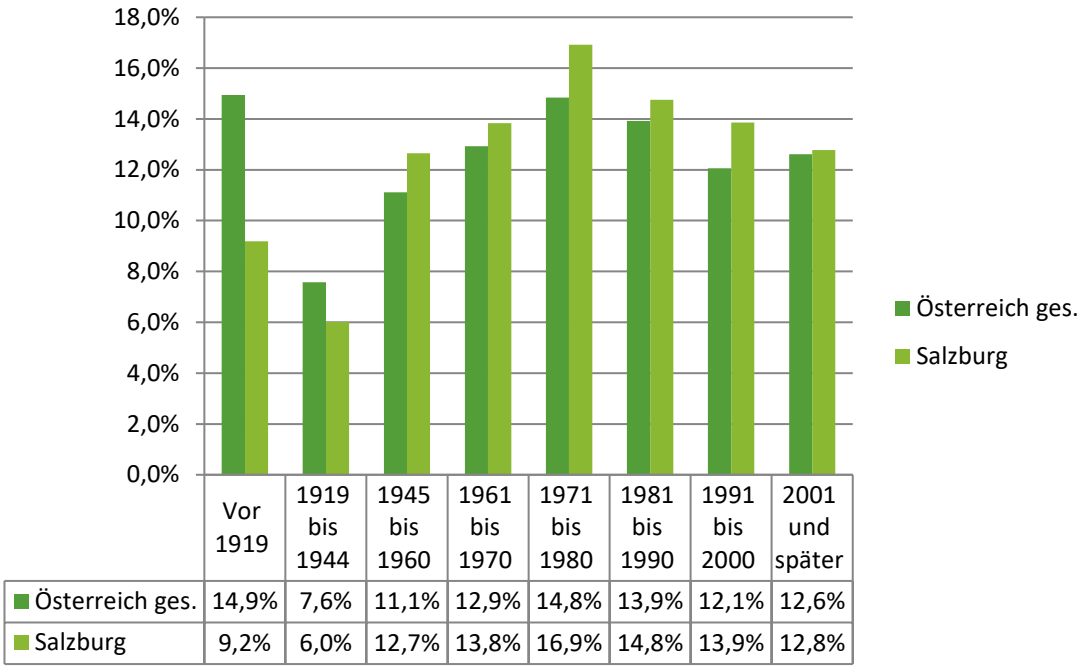
In der österreichischen Klimastrategie 2007 wurde eine Sanierungsquote von 3% (2008-2012) und mittelfristig von 5 % p.a. als Ziel festgelegt [BMLFUW 2007]. Tatsächlich ist Österreich noch weit davon entfernt. Im Jahr 2013 lag die Sanierungsquote bei 1,4 % [Gewerkschaft Bau-Holz 2014]. Diese Situation lässt bereits deutliche Potenziale für die Bauwirtschaft erahnen. Augenscheinlich wird dies bei Betrachtung des Gebäudebestandes.

3.3.1 Gebäudebestand

Von den rund 2 Mio. in Österreich vorhandenen Gebäuden sind rund 88 % und damit etwa 17 Mio. Gebäude der Kategorie Ein- und Zweifamilienhäuser zuzuordnen [Amtmann et al 2011].

Im Bundesland Salzburg wurden die meisten Gebäude in den 70er Jahren des vorigen Jhdt. gebaut. In Österreich stammt zwar auch ein höherer Anteil des heutigen Gebäudebestandes aus diesem Jahrzehnt, allerdings noch geringfügig mehr aus einer Zeit vor 1919. Einen besonders hohen Anteil an Altgebäuden (vor 1919) findet sich in Wien mit 19,7 %, Niederösterreich mit 17,2 % und in der Steiermark mit 16,3 %. Im Vergleich dazu sind lediglich 9,2 % des heutigen Salzburger Gebäudebestandes in der Zeit vor 1919 erbaut worden.

Einen Vergleich zwischen Gebäudebestand unterschiedlicher Errichtungszeiträume in Österreich bietet Abbildung 3.17. Die genannten Zahlenwerte beziehen sich auf die Registerzählung im Jahr 2011 [Statistik Austria 2014].



	Vor 1919	1919 bis 1944	1945 bis 1960	1961 bis 1970	1971 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2000	2001 und später
Österreich ges.	14,9%	7,6%	11,1%	12,9%	14,8%	13,9%	12,1%	12,6%
Salzburg	9,2%	6,0%	12,7%	13,8%	16,9%	14,8%	13,9%	12,8%

Abbildung 3.17: Prozentualer Anteil von Gebäuden unterschiedlicher Errichtungszeiträume am Gesamtbestand in Österreich und Salzburg bei der Registerzählung 2011

In Anlehnung an [Statistik Austria 2014]

Während der Gebäudebestand (Stand 2011) an Bauten aus dem Zeitraum 1945 - 1960 in der Stadt Salzburg mit knapp 19 % (3972 Gebäude) am höchsten ist, stammt der größte Anteil an Gebäuden in den Salzburger Bezirken aus den 70er Jahren. In Hallein, Salzburg Umgebung sowie Tamsweg stammen knapp 17 % und in St. Johann sowie Zell am See rund 19% aus den Jahren 1971 - 1980. Die zweitbedeutendste Bauperiode, bezogen auf den heutigen Gebäudebestand, lässt sich im

Bundesland Salzburg nicht konkret bestimmen, denn sie war abhängig vom Bezirk 1945 - 1960 (Tamsweg 15 %), 1961 - 1970 (Salzburg Stadt 17 %,), 1971 - 1980 (Hallein 15 % und Zell am See 15 %), 1981 - 1990 (Sankt Johann 16 %) und 1991 - 2000 (Salzburg Umgebung 17 %).

Die höchste Anzahl an Gebäuden befindet sich im Bezirk Salzburg Umgebung (40.853) gefolgt von Zell am See (25.556) und Salzburg Stadt (21.171). Eine grafische Übersicht des Gebäudebestands in den Bezirken Salzburgs bietet Abbildung 2.18.

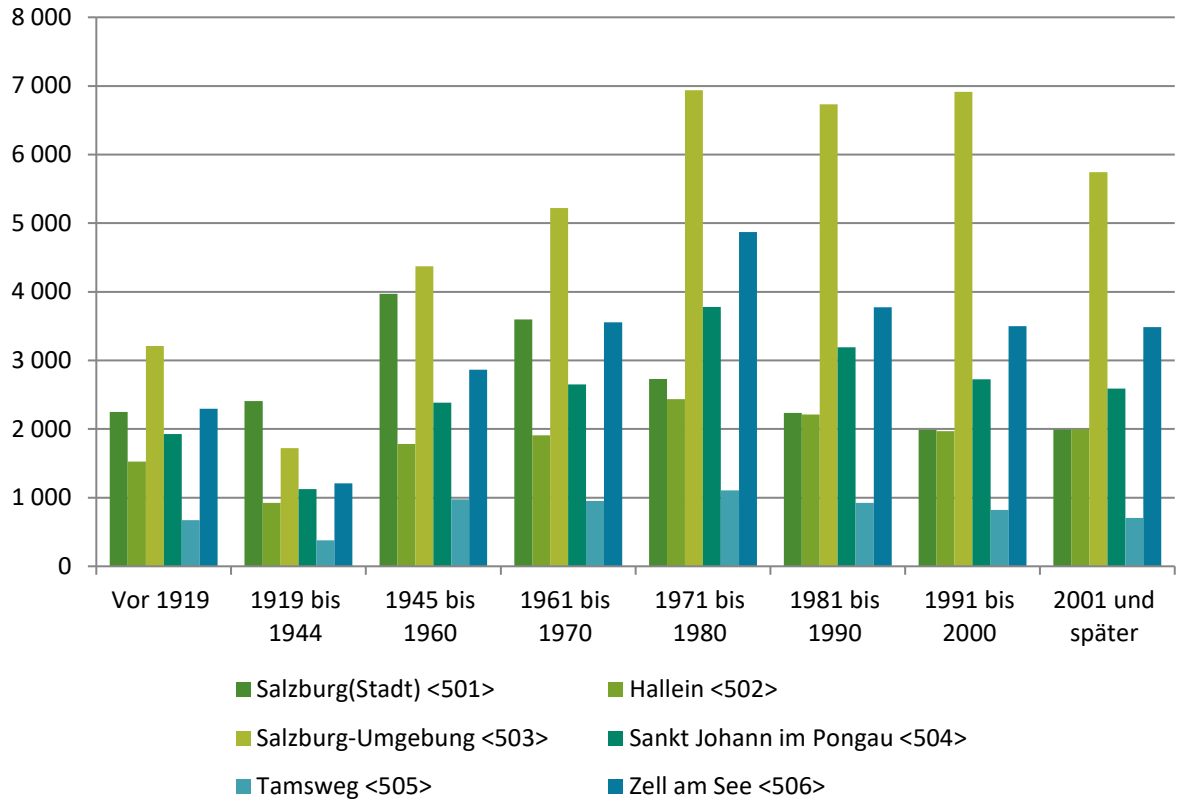


Abbildung 3.18: Grafische Darstellung des Gebäudebestandes der Bezirke von Salzburg bei der Registerzählung 2011 in Abhängigkeit des Erbauungszeitraums

In Anlehnung an [Statistik Austria 2014]

Der Bestand an Gebäuden der Salzburger Bezirke je nach Errichtungszeitpunkt findet sich in Tabelle 3.3.

Tabelle 3.3: Zahlenmäßige Darstellung des Gebäudebestands der Bezirke von Salzburg bei der Registerzählung 2011 in Abhängigkeit des Erbauungszeitraums
In Anlehnung an [Statistik Austria 2014]

	Vor 1919	1919 bis 1944	1945 bis 1960	1961 bis 1970	1971 bis 1980	1981 bis 1990	1991 bis 2000	2001 und später	∑
Salzburg(Stadt) <501>	2.249	2.409	3.972	3.595	2.728	2.235	1.989	1.994	21.171
Hallein <502>	1.524	324	1.783	1.907	2.436	2.213	1.967	1.995	14.149
Salzburg-Umgeb. <503>	3.212	1.724	4.373	5.220	6.938	6.730	6.914	5.742	40.853
Sankt Johann <504>	1.927	1.127	2.385	2.648	3.780	3.191	2.725	2.590	20.373
Tamsweg <505>	672	377	975	950	1.106	926	820	705	6.531
Zell am See <506>	2.294	1.209	2.863	3.557	4.872	3.775	3.501	3.485	25.556
∑	11.878	7.170	16.351	17.877	21.860	19.070	17.916	16.511	128.633

Wie zuvor dargestellt, wurde der Großteil des Gebäudebestands in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts errichtet. Diese Zeit war nach der Qualitätsgruppe Wärmedämmverbundsysteme auch der Beginn von WDVS in Österreich, wobei Dämmdicken von etwa 5 cm damals üblich waren. Um den heutigen thermischen Anforderungen zu entsprechen, werden vielfach bereits gedämmte, bestehende Gebäude aus der Anfangszeit von WDVS aufgedoppelt. Unter Aufdoppelung ist die Aufbringung eines zusätzlichen WDVS auf ein bereits bestehendes System zu verstehen.

Neben der Aufdoppelung werden WDVS auch bei Bestandsgebäuden ohne bestehende Außendämmung angebracht. Entsprechend dem hohen Bestand an älteren Gebäuden gibt es heute einen bedeutenden Markt für WDVS bei der thermischen Sanierung.

3.3.2 Marktanteil und Trends

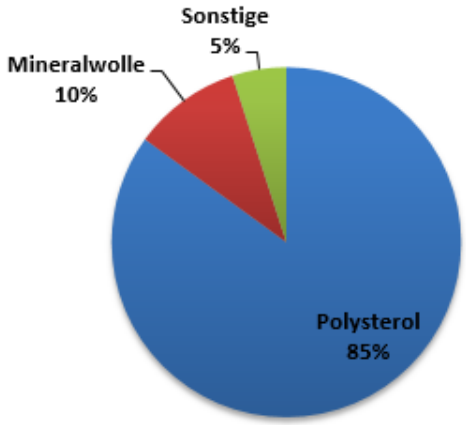
In Österreich werden jährlich rund 12 Mio. m^2 WDVS verarbeitet [QG Wärmedämmsysteme 2013]. Der WDVS-Markt erzielte im Jahr 2010 einen Umsatz von rund 270 Mio. Euro [unn 2011]

Das bedeutendste Dämmmaterial, welche bei WDVS Einsatz findet, stellt Polystyrol mit einem Marktanteil von ca. 85 % dar (siehe Abbildung 3.19). Am zweithäufigsten wird in Österreich Mineralwolle mit einem Marktanteil von etwa 10 % eingesetzt. Die restlichen 5% des österreichischen Marktes teilen sind auf andere Dämmstoffe auf.

Nach der Marktanalyse von Kreutzer Fischer & Partner (2012) belief sich das Volumen des gesamten österreichischen Dämmstoffmarkts (sämtliche Dämmstoffe, nicht nur für WDVS) im Jahr 2011

bei 6,1 Mio. m³. Rund 46,3 % entfiel auf Mineralwolle, 44,9 % auf Schaumstoffe und 8,8 % auf sonstige Dämmstoffe. Im Jahr 2011 lag der Umsatz am österreichischen Dämmstoffmarkt bei 315,2 Mio. Euro und im Jahr 2010 bei 298,4 Mio. Euro [Huber 2013].

Rechnerisch wäre der Anteil an WDVS-Dämmstoffen (270 Mio. Euro) am Umsatz des Gesamtmarktes (298,4 Mio. Euro) im Jahr 2010 mit rund 90 % zu beziffern. Zu beachten ist allerdings, dass die Umsatzzahlen von WDVS-Markt und Gesamtmarkt von unterschiedlichen Quellen stammen.



.

Abbildung 3.19: WDVS-Dämmstoffmarkt Österreich
In Anlehnung an [Jantschek 2011]

Nicht nur bei den verarbeiteten Materialien, auch bei der Herkunft lässt sich eine Vorherrschaft erkennen. Laut der Qualitätsgruppe Wärmedämmsysteme [QG Wärmedämmsysteme 2014] stammen 85 % sämtlicher in Österreich verarbeiteten WDVS von BAUMIT Wopfinger Baustoffindustrie GmbH, Capatect Baustoffindustrie GmbH, Röfix AG, Sto Ges.m.b.H. und Saint-Gobain Weber Terranova GmbH.

Der hohe Marktanteil an EPS- und MW-Dämmplatten spiegelt sich auch beim Angebot dieser fünf Dämmstofflieferanten wieder. Während eine Vielzahl an EPS- und MW-Dämmstoffen mit unterschiedlichen Produkteigenschaften angeboten werden, finden sich nur wenige ökologische Dämmstoffe im Sortiment der Unternehmen. Eine Übersicht über die angebotenen Dämmstoffe von BAUMIT Wopfinger Baustoffindustrie GmbH, Capatect Baustoffindustrie GmbH, Röfix AG, Sto Ges.m.b.H. und Saint-Gobain Weber Terranova GmbH bietet Tabelle 3.4.

Tabelle 3.4: Marktübersicht für WDVS-Dämmstoffe
[Eigene Darstellung]

	anorg. Dämmst.			synth. org. Dämmst		ökol. Dämmst.		
	Aerogel	MS	MW	EPS	PF	WF	Hanffa-ser	ICB
BAUMIT			X	X	X	X		
Capatect			X	X	X		X	
Röfix	X	X	X	X		X		X
Sto		X	X	X	X	X		
Weber Terranova			X	X	X			

Wie anhand der Grafik des deutschen Fachverbandes von Wärmedämmverbundsysteme (siehe Abbildung 3.20) ersichtlich ist, zeigte sich in der Vergangenheit ein deutlicher Trend dahingehend die Dämmstoffdicke bei WDVS zu erhöhen.

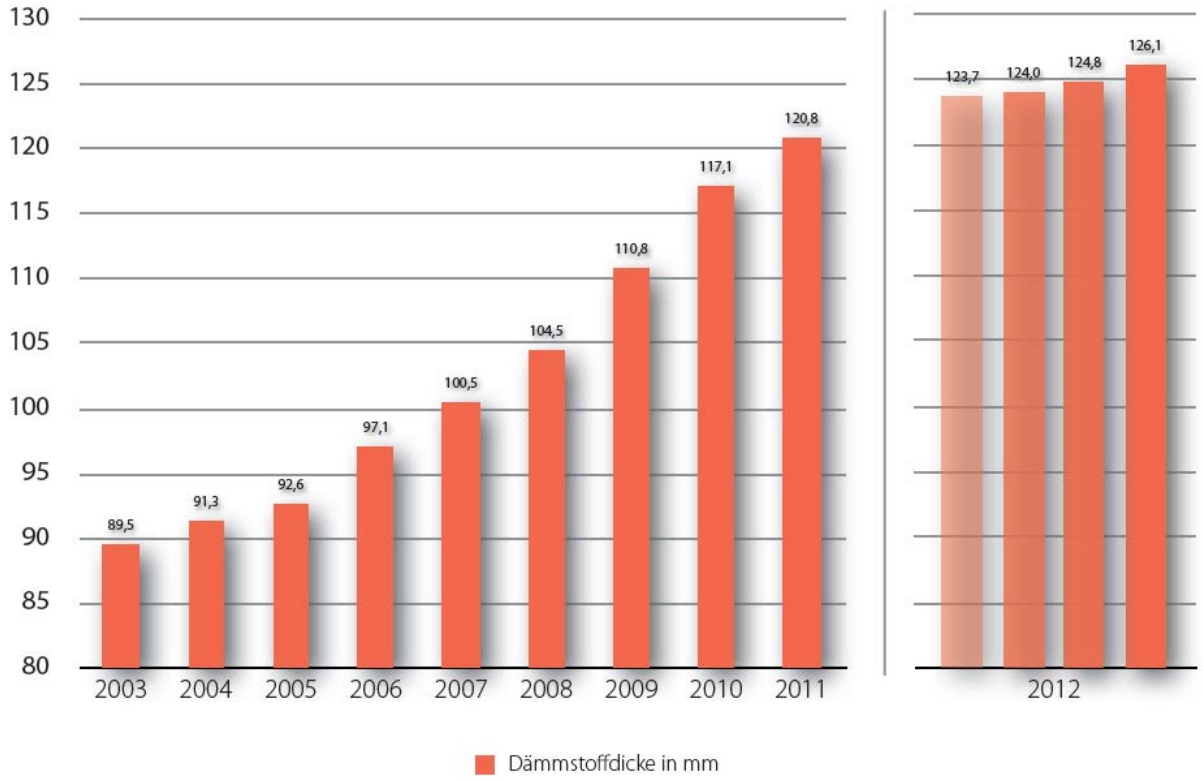


Abbildung 3.20: Durchschnittlich Dämmstoffdicke im Vergleich für die Jahre 2003 bis 2011 und für die Quartale des Jahres 2012
[Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme 2013b]

So lag die durchschnittliche Dämmstärke in Deutschland im Jahr 2003 noch bei 89,5 mm, während sie im Jahr 2011 bereits bei 120,8 mm lag. Sogar innerhalb des Jahres 2012 lässt sich beim Quartalsvergleich ein Trend in Richtung dickere Platten bei WDVS erkennen. Es wird angenommen, dass sich der WDVS Markt in Österreich ähnlich entwickelt hat.

Die meist eingesetzte Dämmdicke war in Deutschland im Jahr 2012 140 mm mit 19,8 %, gefolgt von 160 mm mit 16,8 % und 120 mm mit 15,2 %. [Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme 2013b]

3.4 Tauwasserbildung bei Wärmedämmverbundsystemen

Im Rahmen dieses Kapitels wird der Zusammenhang zwischen WDVS und Taupunktunterschreitung erläutert. Weiters werden mögliche Maßnahmen zur Reduktion der Tauwasserbildung dargestellt.

3.4.1 Tauwasser

Die Wärmespeicherung und Wärmeleitung von Außenwänden hat einen Einfluss auf die anfallende Tauwassermenge. In der Nacht, wenn keine solare Strahlung vorhanden ist und die atmosphärische Strahlung viel kleiner ist als die Abstrahlung, wird der Außenoberfläche Wärme entzogen. Zu einer Unterkühlung unter die Taupunkttemperatur der Außenluft und in Folge zur Tauwasserbildung kommt es lediglich, wenn von Innen ungenügend Wärme nachgeliefert wird und die Außenoberflächenschicht eine niedrige Wärmespeicherfähigkeit aufweist. WDVS bieten demnach günstige Rahmenbedingungen für die nächtliche Tauwasserbildung [Künzel et al 2001].

Nach Künzel et al (2001) sind noch keine Schäden begründet durch nächtliche Unterkühlung bekannt. Die Folge der Unterkühlung, die Tauwasserbildung bietet allerdings eine günstige Grundlage für biologischen Aufwuchs (z.B. Algen, Pilz und Bakterien) auf den Fassaden. Schimmelpilze benötigen für die Sporenkeimung in Abhängigkeit von der Temperatur eine Oberflächenfeuchte zwischen 80 bis 90 %. Algen benötigen hingegen noch eine höhere Feuchte bzw. sogar die Anwesenheit von freiem Wasser. Das zwischenzeitliche Austrocknen der Substanz hat für Algen keine Bedeutung.

Ein mikrobieller Bewuchs mit Algen und Pilzen auf der Fassade wird oftmals als ästhetisches Problem wahrgenommen. Der Bewuchs führt allerdings bei einer intakten Fassade zu keinen Schäden. Der Einsatz von Biozid-Produkten wirkt dem Wachstum der ungewollten Schadorganismen entgegen [Umweltbundesamt 2014]. Biozide haben zwar eine vorbeugende und verzögernde Wirkung, allerdings kann der Einsatz von diesen ein dauerhaftes Fernbleiben von Algen nicht gewährleisten [Schmiege 2013].

Die Problematik im Zusammenhang mit Bioziden ist eine gewisse Wasserlöslichkeit aufweisen

müssen um für Organismen verfügbar zu sein. Die Wasserlöslichkeit hat zur Folge, dass Biozide aus der Fassadenoberfläche ausgewaschen werden und in den Boden eindringen [Umweltbundesamt 2014].

Die Verordnung Nr. 528/2012 des europäischen Parlaments betrifft die aktuelle EU-weite Regelung über die Bereitstellung und Verwendung von Biozidprodukten.

Vom biologischen Wachstum auf der Fassade sind v.a. WDVS jüngerer Zeit betroffen. Die nächtliche Oberflächentemperatur stellt einen bedeutenden Indikator für den Bewuchs dar. Die Untersuchung einer Fassade mit Bewuchs von Blaich (1999) zeigte, dass bei Bereichen, welche um weniger als 1 K höhere Temperaturen aufwiesen, wie etwa Putzflächen direkt über Wärmebrücken (Befestigungsdübeln), kein Bewuchs vorhanden war. Ähnlich ist dies bei alten WDVS mit geringen Dämmstärken von etwa 40 mm. Bei WDVS mit geringer Dämmstärke kommt es, wegen der ausreichenden Wärmezufuhr von innen nach außen zu keiner Algenbildung, da die Oberflächentemperatur der Fassade höher ist als die Taupunkttemperatur der Außenluft [Künzel et al 2001].

Abbildung 3.21 zeigt die Ergebnisse der zuvor genannten Studie. Beim ersten Foto (oben) sind die algenfreien Fassadenstellen, über den Befestigungsdübeln ersichtlich. Klar erkennbar wird, dass die Befestigungsdübeln Wärmebrücken darstellen, bei der Thermografie (Mitte). Das unterste Diagramm von Abbildung 3.21 verdeutlicht, dass das Auftreten von Tauwasser und in Folge Algenwachstum von kleinsten Temperaturunterschieden abhängt.

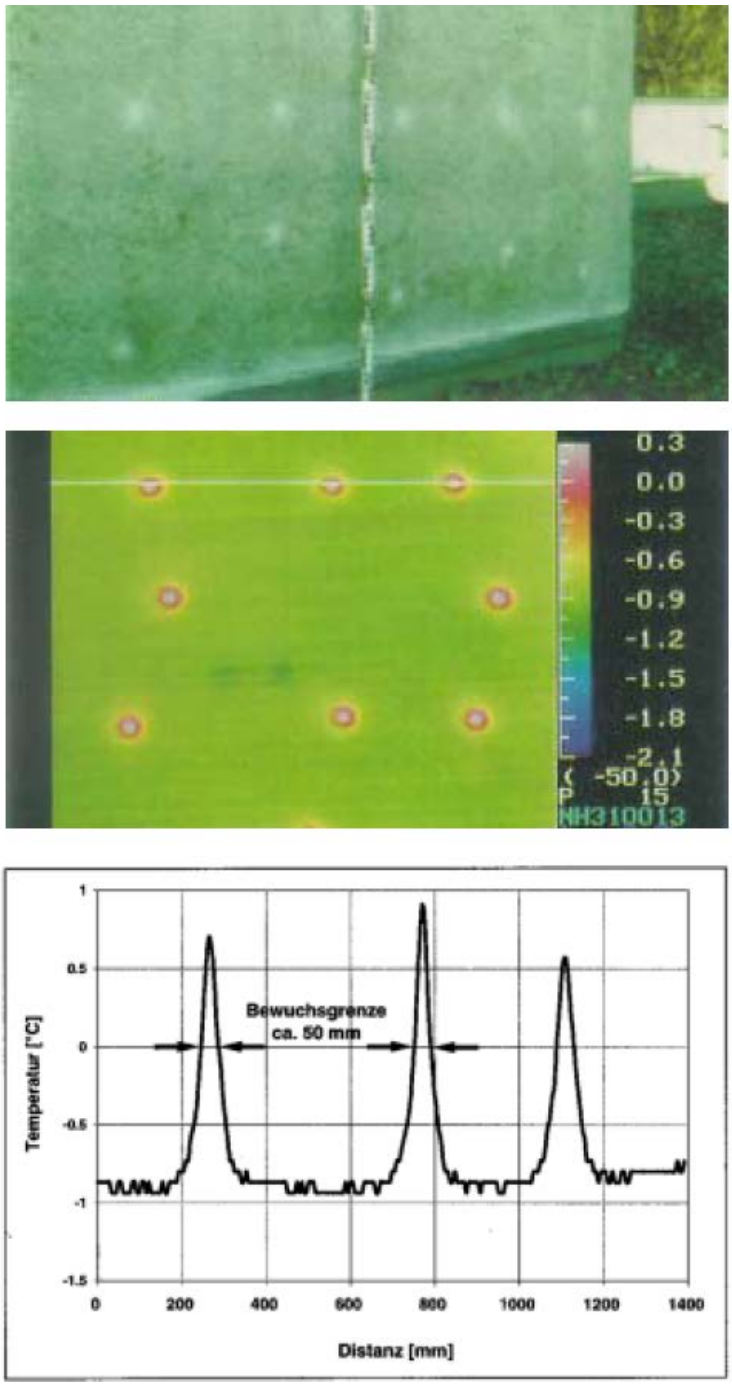


Abbildung 3.21: Foto- und Thermografie eines algenbewachsenen gedübelten Wärmedämmverbundsystems ohne mikrobiellen Bewuchs bei den Wärmebrücken (Dübeln)
[Künzel 2001]

Die günstigsten Jahreszeiten für Bewuchs stellen die Übergangszeiten im Frühling und Herbst dar. Die anderen Jahreszeiten sind auf Grund von Kälte und Trockenheit für das Algenwachstum als ungeeigneter anzusehen [Krus & Fritz 2005].

Künzel et al (2001) kamen bei ihrer Studie am Freigelände des Fraunhofer Institutes für Bauphysik zum Ergebnis, dass eine nächtliche Unterkühlung in allen Jahreszeiten zu verzeichnen war. Wie in

Abbildung 3.22 ersichtlich, wurde die langfristig höchste Oberflächenfeuchte in der Jahreszeit Herbst ermittelt. Entsprechend sind die Bedingungen für mikrobiellen Bewuchs im Herbst besonders günstig.

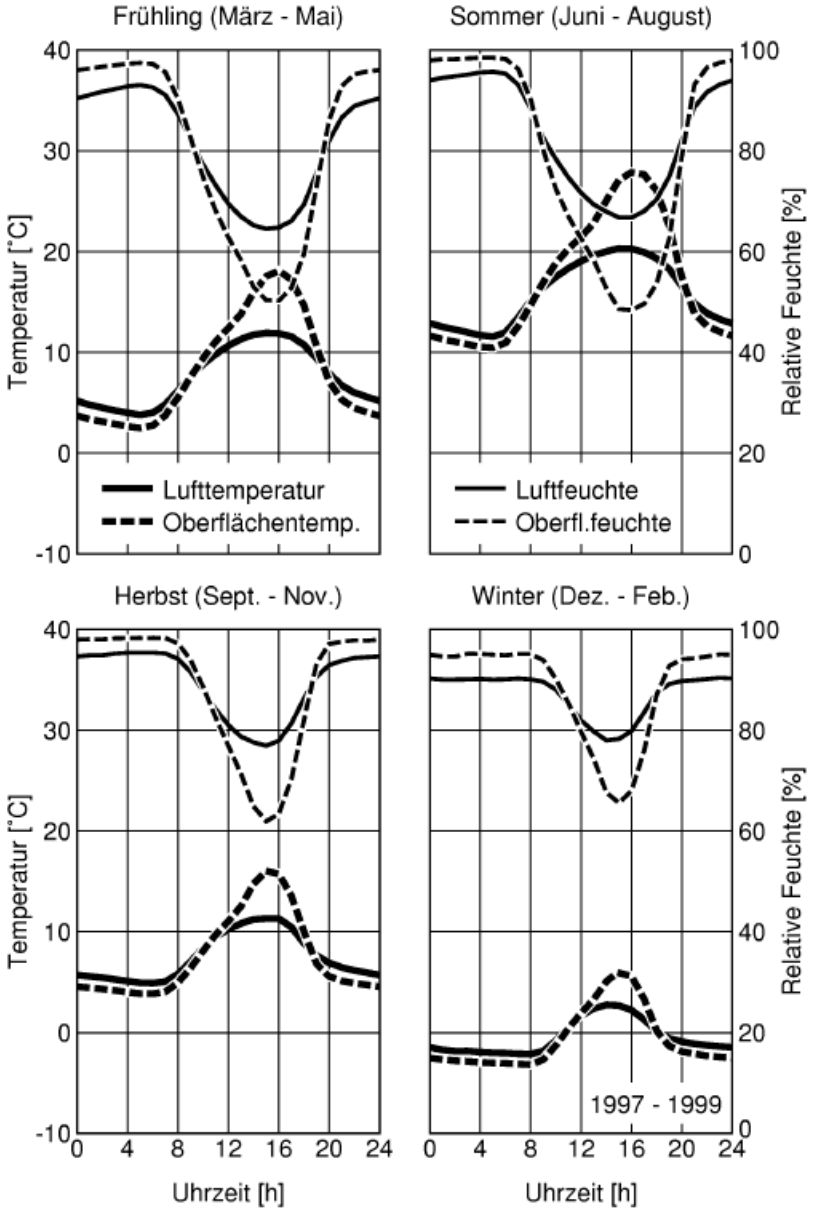


Abbildung 3.22: Mittlere Tageszyklen der Studie von Künzel et al (2001) gemessene Oberflächentemperatur und ermittelte Oberflächenfeuchten im Vergleich zu den Außenluftbedingungen
[Künzel et al 2001]

Die zuvor dargestellten Ergebnisse der exponierten Prüffläche wurden von Künzel et al (2001) mit einem Objektversuch verglichen. Bei dem Objekt handelte es sich um ein beheiztes Test-Haus. Die betrachtete Westwand mit WDVS hatte einen U-Wert von 0,41 W/m²K und bestand aus einem

Kalksandsteinmauerwerk mit einer 80 mm dicken Außendämmung. Die Oberflächentemperatur der Außenwand war am Tag nahezu identisch und in der Nacht nur geringfügig höher, verglichen mit der exponierten Prüffläche. Die Wärme aus dem Innenraum hatte demnach einen äußerst geringen Einfluss auf die Oberflächentemperatur. Künzel et al (2001) sprechen bei „Wärmedämm-Verbundsystemen entsprechender Dämmschichtdicke von einer thermischen Entkoppelung, der Fassade von den Raumluftverhältnissen“.

Derselbe Versuch wurde auch mit einer monolithischen Wand, Nord- und Südseite des beheizten Testgebäudes mit einem U-Wert von 0,51 W/(m².K), von Künzel et al (2001) durchgeführt. Die Oberflächentemperatur unterschritt dabei in der Nacht nicht die Außenlufttemperatur. Lediglich am Tag wurde eine geringere Oberflächentemperatur als Umgebungstemperatur bei der Nordfassade gemessen. Da die relative Luftfeuchte mit steigende Temperatur sinkt, bestand dadurch allerdings keine Gefahr für Tauwasserbildung.

Einen interessanten Vergleich zwischen WDVS und monolithischer Wand unter Berücksichtigung der Orientierung bietet Krus und Fritz (2005). Auf der Wetterseite (Westen) führt sowohl Schlagregen als auch Betauung zu hoher Feuchtigkeit. Während der Schlagregen eine reinigende, Bewuchs mindernde Wirkung haben kann, bleibt das Tauwasser in Form kleiner Tropfen an der Fassade hängen. Dies ist als Grund anzusehen, weshalb auch auf der Nordseite mit äußerst wenig Regen mikrobieller Bewuchs aufzufinden ist.

Die Bedeutung der Wärmespeicherfähigkeit im Zusammenhang mit der Tauwasserbildung verdeutlichen die beiden Autoren bei Betrachtung einer monolithischen Bauweise. Bei der monolithischen Bauweise tritt auf der Ostseite eine häufigere Taupunktunterschreitung auf als auf der Westseite. Grundlegend hierfür ist, dass die Energie, die bei der Ost-Wand am Morgen aufgenommen wurde, bis zum Sonnenuntergang großteils bereits wieder abgegeben wurde. Die westseitige Wand gibt hingegen Wärme über die Nacht ab. Im Zusammenhang mit WDVS hat dieser Effekt, begründet durch die niedrige Wärmekapazität allerdings kaum eine Bedeutung.

Einen Vergleich der Taupunkttemperaturunterschreitung für die Monate September und Oktober zwischen einer Porenbetonwand (U = 0,35 W/(m².K)) und eines WDVS (U = 0,35 (W/m².K)) bei west- und ostseitiger Orientierung bietet Abbildung 3.23. In dieser Grafik ist für denselben Zeitraum die Schlageregenbelastung einer West- und Ostfassade dargestellt.

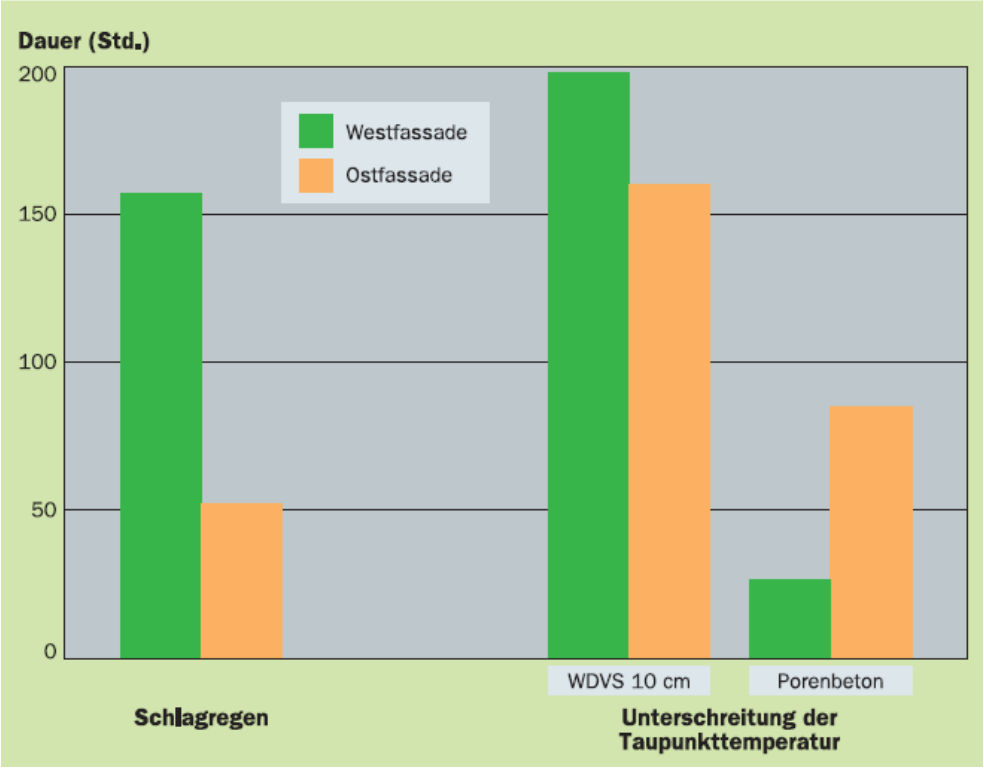


Abbildung 3.23: Schlagregenanfall und Dauer der Unterschreitung der Taupunkttemperatur einer Porenbetonwand und eines WDVS für die Monate September und Oktober. Der U-Wert beider Wandkonstruktionen beträgt 0,35 W/m²K [Krus 2005]

Ebenso bietet die Studie von Sedlbauer et al (2004) einen aufschlussreichen Vergleich zwischen monolithischer Wand und WDVS in Hinblick auf die Tauwasserbildung. Die Autoren stellten für den Zeitraum September und Oktober den Zusammenhang zwischen Wärmedurchgangskoeffizient und der Dauer der Unterkühlung einer monolithischen Wand und eines WDVS dar. Das Ergebnis dieser Studie ist in Abbildung 3.24 ersichtlich. Die obere Begrenzungslinie des markierten Bereichs ist beim WDVS dem EPS zuzuordnen und die untere Begrenzungslinie stellt eine Holzfaserdämmung dar. Bei der monolithischen Wand bezieht sich die obere Linie des straffierten Bereichs auf eine Porenbetonwand und die untere Linie auf eine Ziegelwand.

Im Grunde verdeutlicht diese Abbildung wiederum den Zusammenhang zwischen Wärmespeicherfähigkeit einer Wand und der Tauwasserbildung. Bei der monolithischen Bauweise war die Dauer der Taupunktunterschreitung geringer als bei einem Wandaufbau mit WDVS. Weiters zeigt sich, dass die höhere Wärmespeicherfähigkeit von Holzfaserdämmplatten im Vergleich zu EPS zu einer geringeren Tauwasserbildung führt.

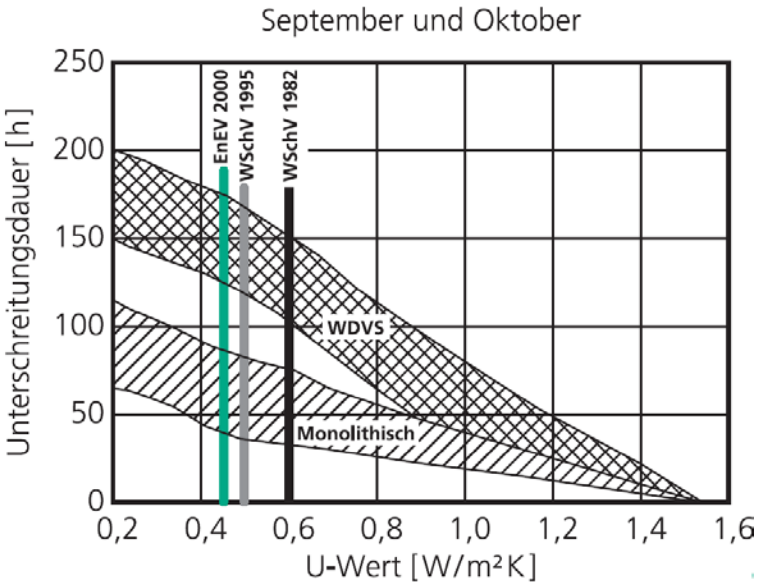


Abbildung 3.24: Vergleich der Unterschreitung der Taupunktemperatur einer monolithischen Wand mit einer WDVS-Wand
[Sedlbauer et al 2004]

Eine weitere Untersuchung stammt von Sumereder (2013). Betrachtet wurde dabei die Unterschreitung der Taupunktemperatur einer 50 cm starken Ziegelwand (Variante 1) im Vergleich zu einer 25 Ziegelwand mit 20 cm Wärmedämmung (Variante 2). Der U-Wert die beiden Vergleichswände war ident und lag bei rund 0,15 W/m²K. Die Dauer der Taupunktunterschreitung in Stunden ist für die beiden Varianten für eine Süd-, Nord-, Ost- und Westorientierung in Tabelle 3.5 dargestellt.

Tabelle 3.5: Taupunktunterschreitung einer monolithischen Wand (Variante 1) und Wand mit WDVS (Variante 2)
[Sumereder 2013]

	Variante 1	Variante 2
Taupunktunterschreitung Süd [h]	153	310
Taupunktunterschreitung Nord [h]	187	317
Taupunktunterschreitung Ost [h]	174	309
Taupunktunterschreitung West [h]	176	318
Taupunktunterschreitung [h]	**187**	**318**
Prozentuelle Unterschreitung im Jahr [%]	2,13	3,63

Die Unterschreitung der Taupunkttemperatur war bei der Außenwand mit WDVS um rund 70 % höher als bei der monolithischen Wand. Aus Abbildung 3.25 lässt sich entnehmen, wann eine Taupunktunterschreitung erfolgt ist, betrachtet über alle Jahreszeiten. Die rote Linie stellt dabei die Taupunktunterschreitung der Wand mit WDVS und die blaue der monolithischen Außenwand dar.

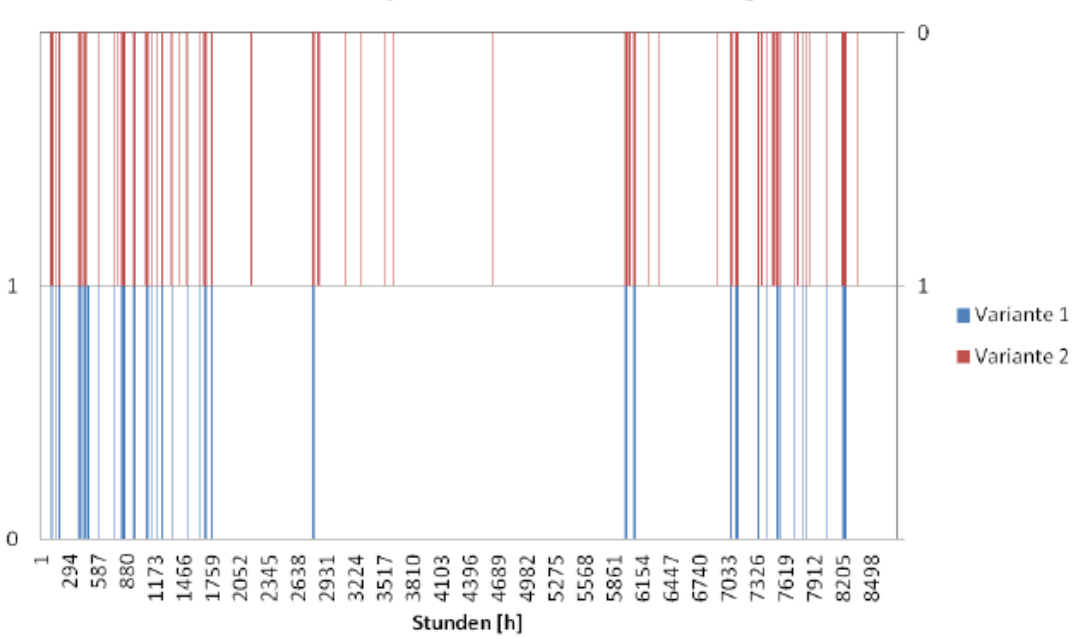


Abbildung 3.25: Unterschreitung der Taupunkttemperatur über das Jahr
[Sumereder 2013]

Büchli und Rasche (2004) ermittelten die Oberflächentemperatur einer Fassade während klaren, kalten Winternächten in Abhängigkeit von der Außentemperatur für die U-Werte 0,9 W/(m².K) sowie 0,3 W/m².K. Bei ihrer Berechnung berücksichtigten sie das Strahlungsgesetz, die Oberfläche strahlt bei klarem Himmel mehr Wärme gegenüber der kälteren Umgebung ab. Das Ergebnis ihrer Berechnung, die sich auf den Standort Zürich und die Wetterdaten von November 1991 bis 29 April 1992 bezieht, ist in Abbildung 3.26 grafisch dargestellt.

Es lässt sich klar erkennen, dass die Fassadenoberfläche einer Außenwand mit geringeren U-Wert stärker unterkühlt als eine Außenwand mit höheren U-Wert. Weiters ist ersichtlich, dass die Temperaturdifferenz zwischen den Oberflächentemperaturen der beiden Außenwände mit sinkenden U-Wert steigt. Während sich die Oberflächentemperatur bei einer Außentemperatur von 8 °C beim ersten Bauteil mit U = 0,9 W/(m².K) bei 3,48 °C befindet, liegt sie beim zweiten Bauteil mit U = 0,3 W/(m².K) bei 2,59 °C. Die Temperaturdifferenz beträgt somit 0,89°C. Bei sinkenden Außentemperatur steigt die Temperaturdifferenz. Bei -14 °C Außentemperatur beträgt die Oberflächentemperatur des ersten Bauteils -13,17 °C und beim zweiten -16,91 °C und folglich die Temperaturdifferenz 3,74 °C.

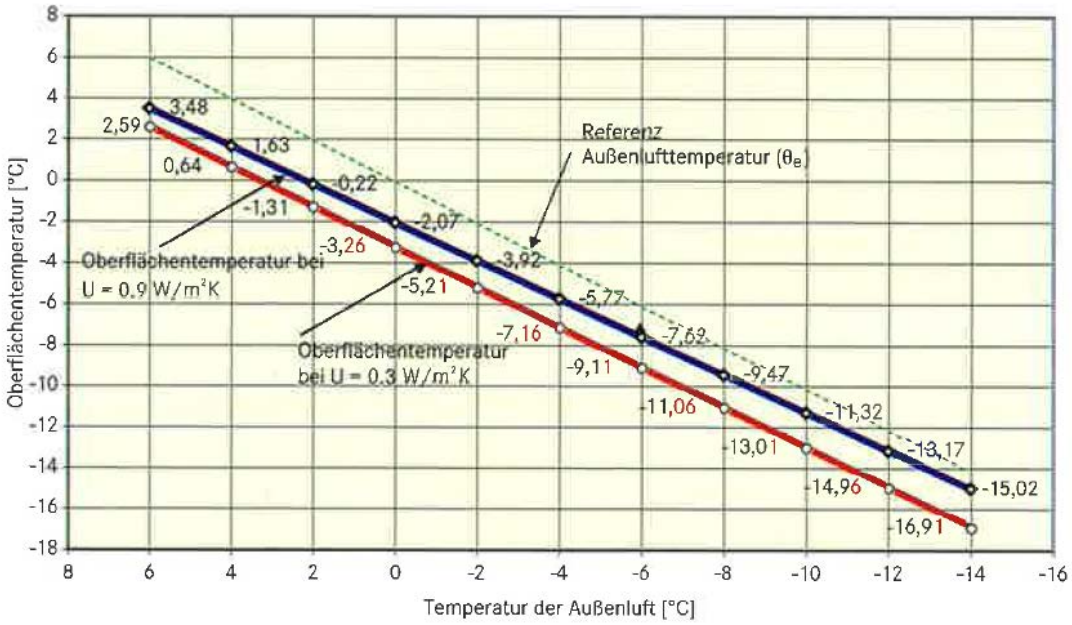


Abbildung 3.26: Oberflächentemperatur bei klaren, kalten Winternächten und unterschiedlichen Außentemperaturen für zwei Außenwandbauteilen mit den U-Wert 0,9 bzw. 0,3 W/m²K
[Büchli & Rasche 2004]

3.4.2 Reduktion der Tauwasserbildung

Es gibt unterschiedliche Ansätze, wie bauphysikalisch die Tauwasserbildung bei WDVS reduziert werden kann. Eine Möglichkeit stellt die Erhöhung des oberflächennahen Wärmespeichervermögens dar. Durch Erhöhung des oberflächennahen Wärmespeichervermögens kann die gespeicherte Energie der solaren Erwärmung, welche tagsüber stattfindet, in der Nacht genutzt werden um Temperaturabsenkungen zu verringern. Dafür ist es notwendig einen Dämmstoff mit höherer Wärmespeicherkapazität zu verwenden. Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz von Holzfaserdämmplatten (hohe Rohdichte) anstatt von Polystyrol (geringe Rohdichte) zu einer Reduktion der Tauwasserbildung von bis zu 25 % führt [Krus & Fritz 2005].

Eine weitere bauphysikalische Maßnahme wäre der Einsatz von Putzen in dickerer Auftragung. Die Verwendung eines Dickputzsystems von 20 mm anstatt eines Standarddünnputzsystems mit 5 mm kann zu einer Reduktion der Taupunktunterschreitungsdauer von bis zu 20 % führen [Krus & Fritz 2005].

Dickputzsysteme bieten ebenso den Vorteil, dass sie robuster gegenüber mechanischen Belastungen sind. WDVS mit Dickputz sind von unterschiedlichen Herstellern am Markt erhältlich.

Ebenso wäre auch die Integration von phase changing materials (PCM) in den Außenputz eine Variante den Tauwasseranfall zu reduzieren. Wesentlich dabei ist, das den Phasenwechsel der PCM an die nächtlichen Temperaturen anzupassen. Wenn der Schmelzpunkt der PCM optimiert

ist, kann eine Unterschreitung der Taupunktemperatur bis in die frühen Morgenstunden verhindert werden. Allerdings kommt es in Folge, begründet durch den Phasenwechsel von fest auf flüssig, zu einer Verzögerung der Oberflächenerwärmung am Morgen. In Summe führt der Einsatz von PCM zu einer Reduktion an Tauwasser [Krus & Fritz 2005].

PCM wird vor allem im Innenbereich eingesetzt um den Kühlbedarf zu reduzieren. Hierfür finden sind unterschiedliche Produkte, wie etwa Putz und Gipsplatten mit integrierten PCM. Die Integration von PCM hat einen deutlichen Einfluss auf den Preis. Beispielsweise ist eine Gipsplatte mit PCM 6- bis 7-mal so teuer [Rigips 2014], wie eine günstige Standardgipsplatte des Herstellers.

Bei einem Freilandversuch kam das Fraunhofer Institut zu stark schwankenden Ergebnissen, begründet durch unterschiedliche Klimabedingungen. Im ersten Herbst, bei einer mittleren Außentemperatur von 5 °C konnte durch das PCM die Taupunktunterschreitung um 30 % reduziert werden. Beim Herbst in den beiden folgenden Jahren mit höheren mittleren Außentemperaturen kam es hingegen lediglich zu einer Verbesserung von 5 %. Der Umschlagepunkt des PCM lag bei ca. 6 °C. Begründet durch diese Ergebnisse kann die Praxistauglichkeit von PCM als fragwürdig angesehen werden [Krus, 2008]. Bei der Recherche konnte auch kein Hersteller gefunden werden, der aktuell Außenputz mit PCM integriert anbietet.

Eine Änderung der strahlungstechnischen Oberflächeneigenschaften wäre ebenso eine Maßnahme, um die Tauwasserbildung zu minimieren. Die Farbe der Fassade hat einen erheblichen Einfluss auf die Absorption. Im Gegensatz zur weißen Farbe mit einem Absorptionsgrad von 0,2 haben leicht getönte und farbige Anstriche einen deutlich höheren Absorptionsgrad (0,4 – 0,6). Der höhere Absorptionsgrad führt zu einer höheren Erwärmung der Oberfläche am Tag und zu geringen Vorteilen hinsichtlich der Unterkühlung in der Nacht. Bedeutender ist allerdings, dass die Fassadenoberflächen mit farbigem Anstrich schneller abtrocknen, was in Folge zu einer Reduktion des Risikos für mikrobiellen Bewuchs führt. Interessant wäre jedenfalls der Einsatz von Infrarot- (IR) Farben, die Metallpigmente enthalten. Bei IR- Farben können im Vergleich zu konventionellen Farben die langwelligen Abstrahlungen von 90 % auf etwa 65 % reduziert werden. Die Verringerung der thermischen Abstrahlung führt zu einer geringen Unterkühlung. Durch den Einsatz von IR-Farben lässt sich die Tauwasserbildung um bis zu 50 % reduzieren [Krus & Fritz 2005].

Allerdings sind der Farbwahl bei Fassaden auch Grenzen gesetzt. Zu dunkle Farben führen zu einer hohen Aufheizung der Fassade, das kann Schäden zur Folge haben. Um eine zu hohe Temperatur der Oberfläche von WDVS zu vermeiden sollte die Farbtonintensität ein Helligkeitsbezugswert von ≥ 20 % haben. Der Helligkeitsbezugswert (HBW) ist das Maß für den Reflexionsgrad und befindet sich im Wertebereich von 0 % (schwarz) bis 100 % (weiß) [MM-Fassade 2014]. Es finden sich am Markt allerdings auch spezielle Systemlösungen mit welchen der HBW von 20 % unterschritten werden kann.

Einen Überblick des Einflusses der genannten Varianten auf die Dauer der Unterschreitung der Tauwassertemperatur bietet Abbildung 3.27. Die Abbildung stammt von der Studie von Krus und Fitz (2005) und bezieht sich auf die Zeitspanne September bis Oktober für den Standort Holzkirchen. In der Studie wurde ein U-Wert wurde 0,35 W/m²K zugrunde gelegt [Krus & Fritz 2005].

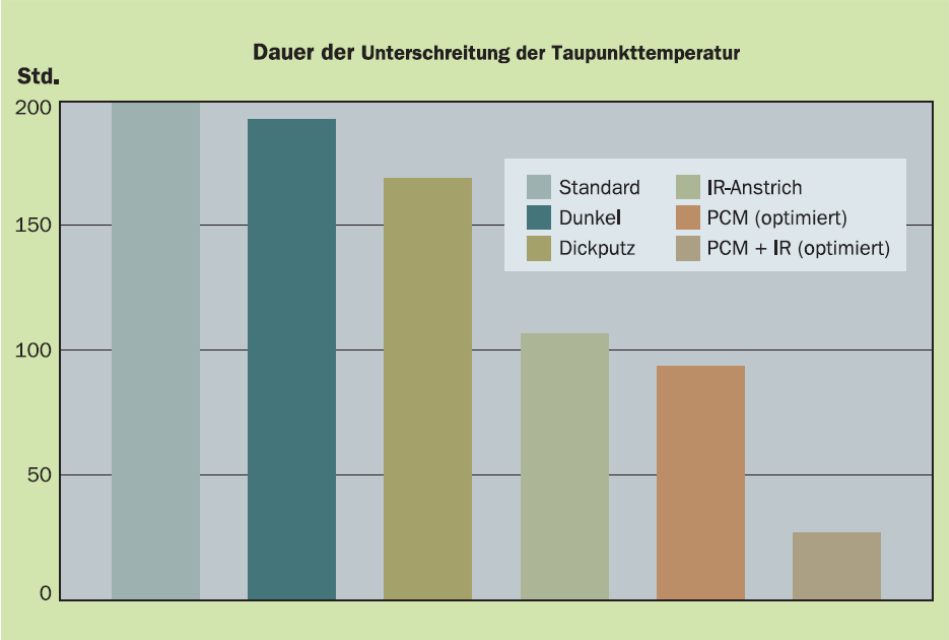


Abbildung 3.27: Dauer der Dauerwassertemperatur-Unterschreitung bei unterschiedlichen Varianten zur Reduktion der Tauwasserbildung für den Zeitraum September bis Oktober bei einem Wandbauteil mit U = 35 W/m² K
[Krus & Fritz 2005]

Bezogen auf die Vermeidung von Algenbewuchs könnte es sich positiv auswirken, wenn das Putz-Anstrich-System bis zu einem gewissen Grad saugfähig wäre. Grundsätzlich müssen die Fassadenbeschichtungen zum Regenschutz hydrophob sein. Auf sehr hydrophoben Beschichtungen verbleibt das Tauwasser länger auf der Fassade. Es stellt eine günstige Grundlage für Algenwachstum dar, denn nach vorherrschender Annahmen ist ausschließlich das oberflächig verfügbare Wasser für die Organismen zugänglich. Eine geringe Saugfähigkeit würde sich günstig erweisen, wenn dadurch ein Teil des, in der Nacht anfallenden, Tauwassers in tiefere Schichten des Außenputzes geleitet wird und dadurch für Algen unzugänglich wäre. Am Tag würde das eingedrungene Wasser, begründet durch die solare Erwärmung des Fassadenputzes, wieder trocknen [Krus & Fritz 2005].

3.5 Ökobilanz und Ökokennzahlen

3.5.1 Allgemeines zur Ökobilanz

Eine Ökobilanz stellt eine systematische Analyse sämtlicher Umweltwirkungen des gesamten Lebensweges eines Verfahrens oder einer Dienstleistung dar. Alle Faktoren (siehe Abbildung 3.28), von der Produktion über die Nutzungsphase bis hin zur Entsorgung eines Produktes werden mitbedacht. Die Ökobilanzierung ist im Rahmen der ISO 14040 ff standardisiert [Fraunhofer IBP, o.J.].

.

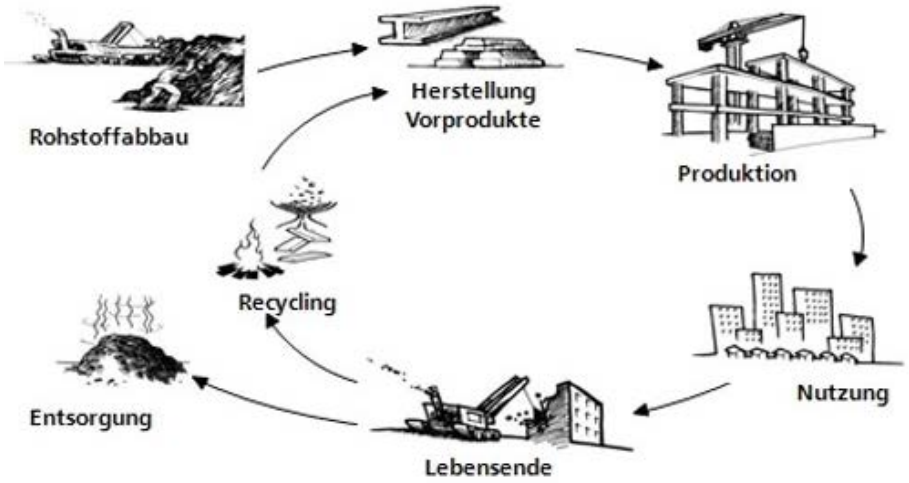


Abbildung 3.28: Lebenszyklus von Baustoffen
[Fraunhofer IBP, o.J.]

Die Ökobilanz wird nach der ISO 14040 in folgende vier Etappen untergliedert [Fraunhofer IBP, o.J.]:

- Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens (Goal and Scope)
- Sachbilanz (Life Cycle Inventory)
- Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment)
- Auswertung und Interpretation (Results and Interpretation)

Zu Beginn einer Ökobilanz werden die Ziele und der Untersuchungsrahmen definiert. Dabei werden etwa die Systemgrenzen, die Funktion des Systems und die Datenqualitätsanforderung festgelegt. Im Rahmen der Sachbilanz findet die Datensammlung sämtlicher relevanter In- und Output-Ströme (Stoff- und Energieströme) statt. Die darauffolgende Wirkungsabschätzung nützt die Ergebnisse der Sachbilanz zur Ermittlung der potenziellen Umweltwirkungen, der Einflüsse auf die menschliche Gesundheit sowie der Ressourcenverfügbarkeit. Innerhalb des letzten Punktes, der

Ökobilanz, werden die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsbilanz ausgewertet und interpretiert [Fraunhofer IBP, o.J.].

3.5.2 Ökoindikatoren - OI3

Eine Übersicht des Primärenergieinhalts, des Treibhauspotenzials und des Versauerungspotenzials von ausgewählten Dämmstoffen bietet Tabelle 3.6. Die Systemgrenze reicht dabei vom Abbau der Rohstoffe bis zum auslieferungsfertigen Produkt, dem „Produkt ab Werk“ (cradle to gate) [IBO 2014].

Tabelle 3.6: IBO-Richtwerte für Dämmstoffe, Funktionale Einheit kg
[IBO 2013a]

Dämmmaterial	Dichte [kg/m³]	λ [W/(m.K)]	PEI n.e. (Ho) [MJ]	PEI n.e. (Hu) [MJ]	GWP100 [kg $CO_{2eq.}$]	AP [kg $SO_{2eq.}$]
Glaswolle MW-PT Fassadenplatte	80	0,039	49,83	46,25	2,454	0,0153
Steinwolle	130	0,040	23,19	21,36	1,935	0,0141
Mineralschaumplatte	115	0,045	13,15	12,34	1,006	0,0021
Polystyrol expandiert (EPS) – F	16	0,040	105,08	98,90	4,169	0,0149
Polyurethan-Hartschaum	40	0,030	100,03	94,04	4,299	0,0177
Hanfdämmplatte m. Stützfasern	30	0,040	30,58	28,68	0,077	0,0047
Holzfaserdämmplatte 160 kg/m³	160	0,040	15,55	14,40	-0,804	0,0040
Korkplatte	120	0,040	6,96	6,45	-1,224	0,0019

Die in Tabelle 3.6 dargestellten Daten stammen von IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie. Die IBO-Richtwerte wurden gewählt, da sie vielfach als Datengrundlage herangezogen werden, bspw. von Eco2Soft, baubook standard und den Energieausweis-Softwareherstellern Archiphysik, Ecotech, Gebäuderechner und GEQ [IBO 2014].

Ein weiterer Grund für die Wahl der IBO-Richtwerte ist die allgemeine Verwendbarkeit. Baubook stellt die Daten für ein bestimmtes Produkt eines Herstellers dar. Bei baubook sind neben den produktspezifischen Werten allerdings auch die IBO-Werte als Richtwerte angeführt.

3.5.2.1 Primärenergieinhalt

Unter Primärenergieinhalt (PEI) ist der Gesamtbedarf an energetischen Ressourcen zu verstehen, welcher zur Herstellung eines Produktes benötigt wird. Bei der Berechnung des PEI wird der Heizwert sämtlicher eingesetzter Ressourcen berücksichtigt. Die Berechnungsmethode Cumulative Energy Demand (CED) stammt von Frischknecht (2003). Üblicherweise wird der PEI in MJ (Megajoule) angegeben. In der IBO-Richtwerttabelle finden sich, getrennt voneinander dargestellt, Primärenergieinhalte aus nicht erneuerbaren Ressourcen (PEI n.e.) und Primärenergieinhalte aus erneuerbaren Ressourcen (PEI e.n.) [IBO 2013a].

In der Literatur finden sich unterschiedliche Angaben, welcher Heizwert zur Berechnung des PEI herangezogen werden soll. Bis einschließlich der Version 2.2 des OI3-Berechnungsleitfadens vom Juni 2011 wurde der PEI aus dem oberen Heizwert (Ho) der energiehaltigen Ressourcen, die bei der Herstellung des relevanten Produktes eingesetzt wurden, berechnet. Mit der Version 3.0 des OI3-Berechnungsleitfadens aus dem Jahr 2013 hat sich dies allerdings geändert. Nun wird der untere Heizwert (Hu) für die Berechnung des PEI herangezogen.

Der PEI n.e. [MJ/kg] ist für unterschiedliche Dämmstoffe in Abbildung 3.29 dargestellt.

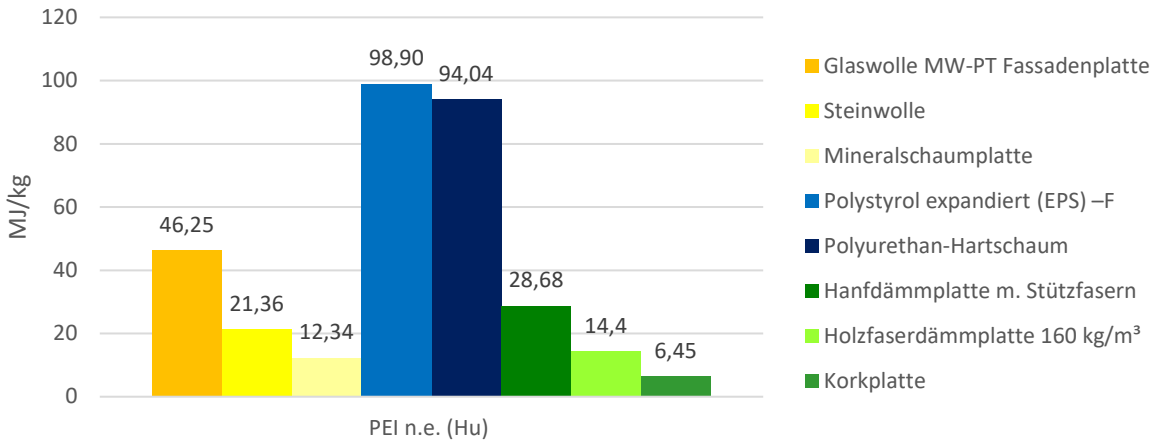


Abbildung 3.29: PEI n.e. pro kg Dämmstoff
[Eigene Darstellung]

Begründet durch die unterschiedlichen λ-Werte und Rohdichten der Dämmstoffe bietet die dargestellte Abbildung einen wenig aussagekräftigen Vergleich. Hier erscheint EPS mit den höchsten PEI n.e.- Werten als ungünstigste Variante der verglichenen Dämmungen. Betrachtet man hingegen Abbildung 3.30 ergibt sich ein ganz anderes Bild. Hier wurde angenommen, dass ein Wandbauelement gedämmt wird.

Als ursprünglicher U-Wert, vor der Sanierung, wurde 1,2 W/(m².K) angenommen. Ein U-Wert von 1,2 W/(m².K) entspricht dem Default Wert für die Außenwand von EFH und MFH ab 1960 nach der

OIB Richtlinie 6 - Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden aus dem Jahr 2011. Als Ziel-U-Wert wurde 0,1 W/(m²K) gewählt. Zur Charakterisierung der unterschiedlichen Dämmmaterialien wurden die IBO-Richtwerte herangezogen (siehe Tabelle 3.6).

Bei der Sanierung einer Außenwand von U = 1,2 W/(m².K) auf U = 0,1 W/(W/m².K) wäre, bezogen auf den PEI n.e., die Kork- und Hanfdämmplatte am günstigsten zu werten. An dritter Stelle befindet sich EPS, welches zuvor, bei Betrachtung des PEI n.e. bezogen auf die funktionale Einheit kg, am ungünstigsten zu werten war. Das bessere Ergebnis ist bei diesem Vergleich v.a. durch die geringe Dichte dieses organisch, synthetischen Dämmstoffes begründet. Während sich das geringe Gewicht pro m³ Dämmstoff günstig für EPS in diesem Vergleich erweist, führt die hohe Dichte der Holzfaserdämmplatte zu einem relativ hohen PEI n.e. Den höchsten PEI n.e. weisen die beiden anorganischen Dämmstoffe und PUR auf.

Die Ergebnisse sind allerdings mit Vorsicht zu interpretieren. Im Zusammenhang mit der Hanffaserdämmplatte sei erwähnt, dass der IBO-Richtwert für die Rohdichte von 30 kg/m³, den AutorInnen niedrig erscheint. Die Hanfdämmplatte von Capatect, welche für WDVS-Systeme geeignet ist, weist ein ρ von 100 kg/m³ auf. Würde man den Wert von 100 kg/m³ [Capatect 2014] ansetzen, wäre die Hanffaserdämmplatte mit 232,17 MJ/m² an vorletzter Stelle. Es gibt allerdings durchaus Hanfdämmplatten mit niedrigen Rohdichten. Die Hanfdämmplatten von Hock, haben laut Produktdatenblatt eine Rohdichte von 30 – 42 kg/m³, dürfen allerdings in Zusammenhang mit der Außenwanddämmung nur bei hinterlüfteten Fassaden eingesetzt werden. Obwohl der verwendete Wert der Rohdichte der Hanffaserdämmplatte niedrig erscheint, wird davon Abstand genommen einen anderen Wert anzunehmen. Grundlegend hierfür ist, dass die Dichte, wie auch andere Materialkennwerte von Produkt zu Produkt variieren.

Beispielsweise sind von Baumit Fassadendämmplatten mit ρ= 155 kg/m³ [Baumit 2014a] als auch mit ρ= 100 kg/m³ [Baumit 2014b] am Markt erhältlich. Weiters unterscheiden sich diese beiden MW-Produkte hinsichtlich ihrer Wärmeleitfähigkeit deutlich, λ=0,04 W/(m.K) und λ=0,034 W/(m.K). Würde man diese beiden MW-Produkte für die Sanierung eines Wandbauteiles von U = 1,2 W/(m².K) auf U = 0,35 W/(m².K) vergleichen, wurde sich der PEI n.e. der beiden MW-Dämmstoffe um 121 MJ/m² unterscheiden. Das zeigt auf, dass lediglich ein Produktvergleich aussägekräftige Ergebnisse liefern kann. Weiters erklärt es, weshalb Studien, in Abhängigkeit der gewählten Datengrundlage, zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen kommen und ein Dämmstoff bezogen auf die Umwelt einmal günstiger und ein anderes Mal deutlich ungünstiger abschneidet.

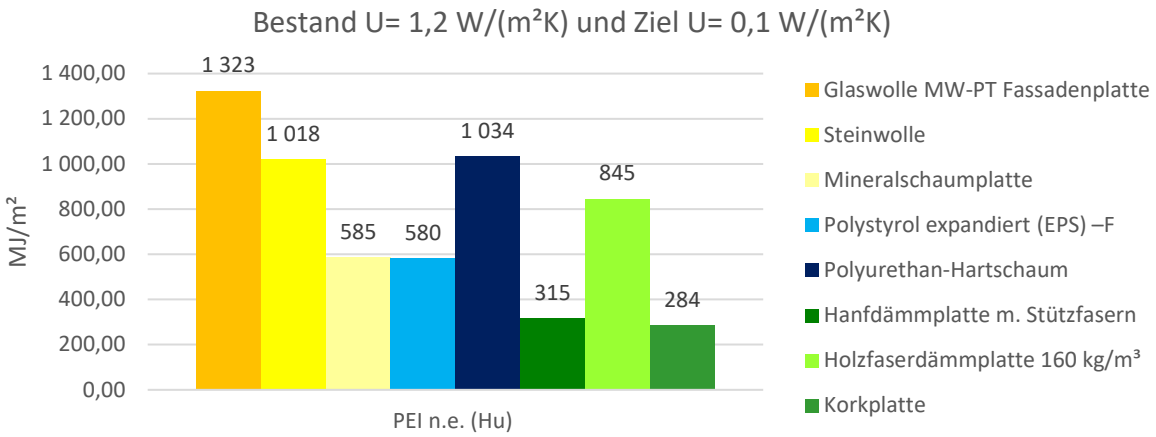


Abbildung 3.30: PEI n.e. unterschiedlicher Dämmstoffe bei Dämmung eines Wandbauteiles von einem Ausgang-U-Wert von 1,2 W/(m²K) zu einem Ziel-U-Wert von 0,35 W/(m²K),
[Eigene Darstellung]

3.5.2.2 Treibhauspotenzial

Auch der Beitrag zur globalen Erwärmung wird im Rahmen der Ökobilanz betrachtet. Das GWP (= Global Warming Potential) bzw. Treibhauspotenzial beschreibt den Beitrag eines Spurengases zur globalen Erwärmung im Verhältnis zum Kohlendioxid (CO_2). Bezogen wird im Rahmen der IBO-Richtwert Tabelle das Treibhauspotenzial auf einen Zeitraum von 100 Jahren gerechnet. Das GWP100 wird in kg-CO_2-Äquivalenten dargestellt [IBO 2013a].

Das Treibhauspotenzial unterschiedlicher Dämmstoffe ist in Abbildung 3.31 ersichtlich. Es zeigt deutlich, dass natürlich organische Dämmstoffe am günstigsten zu werten sind. Die Holzfaser- und Korkdämmplatte weisen einen negativen Wert auf, da der im Material gebundene Kohlenstoff, der während des Wachstums in Form von Kohlendioxid aufgenommen wurde, miteinbezogen wird. Begründet durch den Anteil an polymeren Stützfasern, weisen die Hanffasern bereits einen positiven Wert auf, allerdings nahe null. Um schlechtesten schneiden synthetisch-organische Dämmstoffe ab.

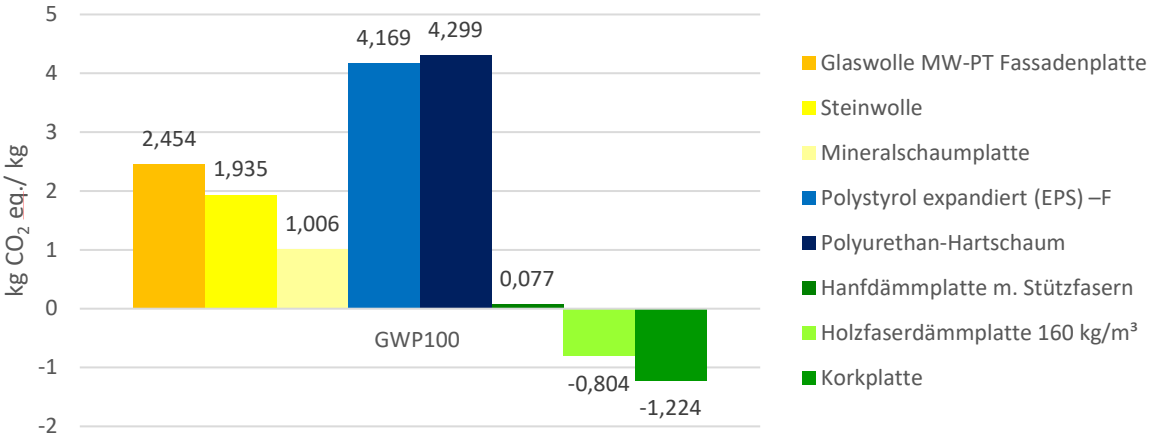


Abbildung 3.31: GWP100 pro kg Dämmstoff
[Eigene Darstellung]

Wie bereits beim Primärenergiebedarf werden hier wiederum die Dämmstoffe bei Dämmung eines Wandbauteiles von U = 1,2 W/(m²K) mit U = 0,1 W/(m²K) verglichen (siehe Abbildung 3.32). Bei diesem Vergleich zeigt sich, dass die natürlich organischen Dämmstoffe weiterhin mit Abstand am günstigsten zu werten sind. Das höchste Treibhauspotenzial weisen die anorganischen Dämmstoffe auf. EPS und PUR sind nun im Vergleich günstiger zu werten als zuvor. Grundlegend für diese Umschichtung sind das Rohgewicht und die Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe.

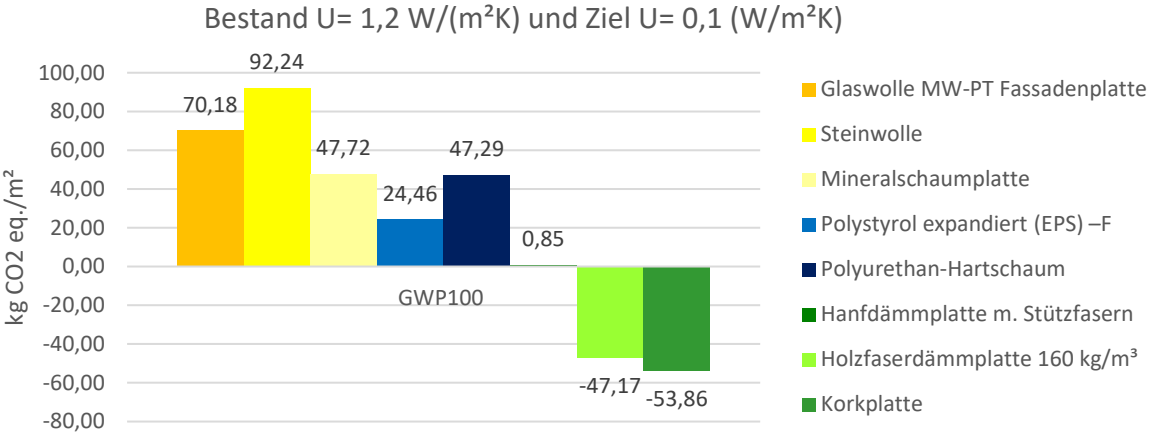


Abbildung 3.32: GWP100 unterschiedlicher Dämmstoffe bei Dämmung eines Wandbauteiles von einem Ausgang-U-Wert von 1,2 W/(m²K) zu einem Ziel-U-Wert von 0,35 W/(m²K)
[Eigene Darstellung]

3.5.2.3 Versauerungspotenzial

Die Wechselwirkung von Stickoxid (NO_x) und Schwefeldioxid (SO_2) mit anderen Bestandteilen der Luft hat unterschiedliche Umweltauswirkungen. Sie führt unter anderem zu einer Versauerung von Gewässern, d.h. der pH-Wert nimmt ab. Das Versauerungspotenzial (AP- Acidification potential) wird mit Hilfe der durchschnittlichen Europäischen Säurebildungspotenziale berechnet und in kg-SO_2-Äquivalenten angegeben [IBO 2013a].

Abbildung 3.33 stellt einen Vergleich zwischen unterschiedlichen Dämmstoffen in Hinblick auf deren Versauerungspotenzial dar. Es zeigt sich dabei, dass die natürlich organischen Dämmstoffe ein relativ niedriges Versauerungspotenzial aufweisen. Weiters sind Mineralschaumplatten als günstig einzustufen. Die restlichen betrachteten anorganischen Dämmstoffe liegen im Bereich der synthetisch organischen Dämmstoffe.

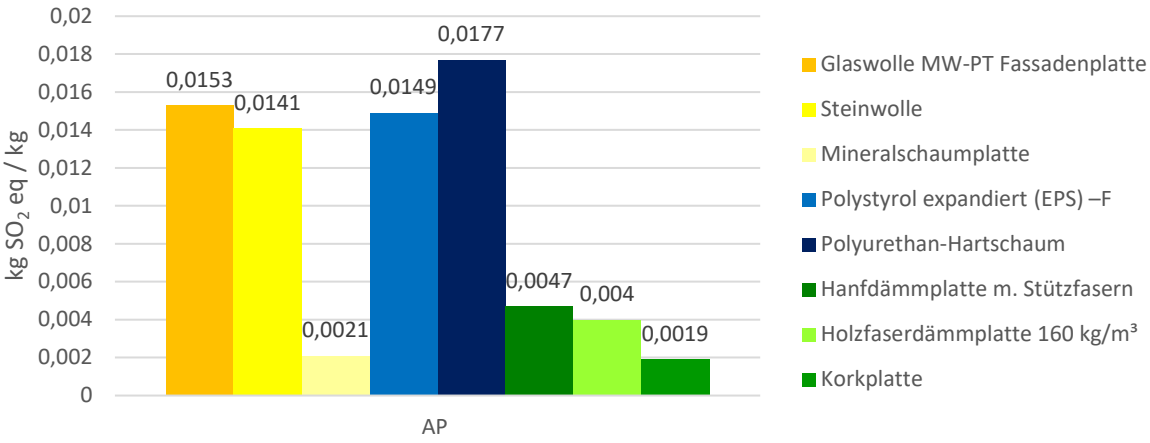


Abbildung 3.33: AP pro kg Dämmstoff
[Eigene Darstellung]

Wie bei den anderen OI3-Indikatoren wird hier wiederum der Bezug zu einem 1 m² dämmendes Wandbauteil hergestellt. Wenn ein Wandbauteil von einem ursprünglichen U-Wert von 1,2 W/(m²K) auf 0,35 W/(m²K) gedämmt wird, ergeben sich für die unterschiedlichen Dämmstoffe AP-Werte entsprechend Abbildung 3.34. Es zeigt sich dabei, dass das Versauerungspotenzial der Mineralschaumplatte, des expandierten Polystyrols, der Hanffaserdämmplatte und der Korkdämmplatte ähnlich niedrig liegt. Polyurethan-Hartschaum und Holzfaserdämmplatten wären bei diesem Vergleich im mittleren Bereich angesiedelt. Am ungünstigsten wären Glas- und Steinwolle zu werten.

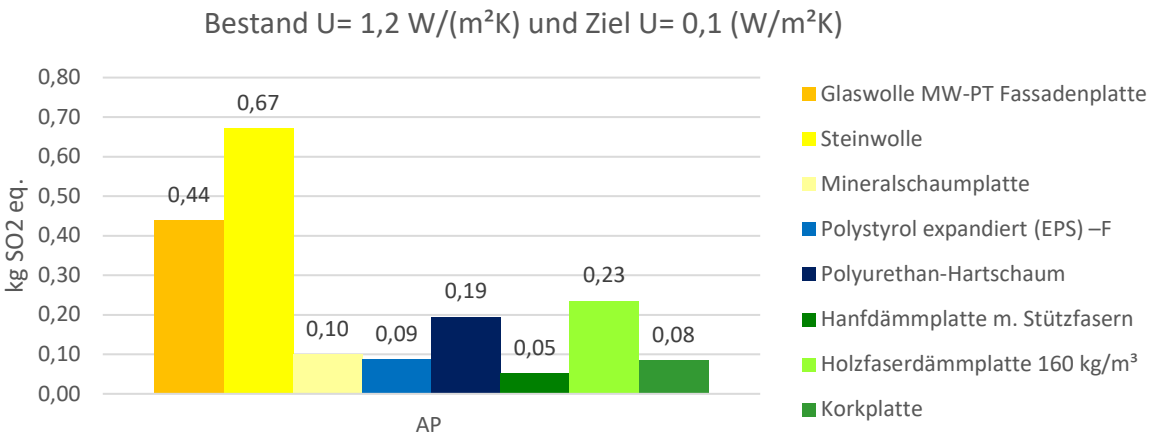


Abbildung 3.34: AP unterschiedlicher Dämmstoffe bei Dämmung eines Wandbauteiles von einem Ausgang-U-Wert von 1,2 W/(m²K) zu einem Ziel-U-Wert von 0,35 W/(m²K)
[Eigene Darstellung]

3.5.2.4 Ökologischer und ökonomischer Vergleich

Ein ökologischer Vergleich von unterschiedlichen Dämmstoffen ist in Abbildung 3.35 ersichtlich. Der ΔOI3 wird dabei in Kombination mit dem erreichten U-Wert durch Anbringung einer Dämmung betrachtet. Als Ausgangs-U-Wert wurde 1,2 W/(m².K) gewählt, da dies dem Defaultwert der Außenwand für nach 1960 errichtete Bauten in Österreich [OIB 2015] entspricht. Die Punkte zeigen die Lage eines spezifischen Dämmproduktes. Die Ziffern hinter der Bezeichnung kennzeichnen die Wärmeleitfähigkeit des jeweiligen Produktes, z.B. WF 047, bedeutet Holzfaserdämmplatte mit λ =0,047 W/m².K.

Bei diesem Vergleich wurden, im Gegensatz zu den Vergleichen zuvor die Werte für Dichte und Wärmeleitfähigkeit von Produktdatenblättern entnommen. Als Ausgangs-U-Wert wurde wiederum 1,2 W/(m².K) gewählt und die IBO-Werte für die Berechnung des ΔOI3 verwendet. Zur Berechnung des ΔOI3 wurde Gleichung 2.1 nach [IBO 2013] herangezogen.

$$\Delta OI3 = \frac{1}{3} \times \left\lfloor \frac{1}{10} PEI_{n.e.} + \frac{1}{2} GWP + \frac{100}{0{,}25} AP \right\rfloor$$	Gleichung 2.1

In Abbildung 3.35 zeigt sich, dass ICB gefolgt von EPS den günstigsten ΔOI3-Wert aufweisen. Im Mittelfeld befinden sich Hanf- und Holzfaserdämmplatten. Den höchsten ΔOI3-Wert weist Mineralwolle auf. Weiters ist der Grafik zu entnehmen, dass EPS-P bezogen auf den ΔOI3-Wert eine gute Alternative zu XPS für das Einsatzgebiet Perimeterdämmung darstellt. Wie zuvor erläutert, wäre der Primärenergieinhalt, das Treibhaus- und Versauerungspotenzial von synthetisch organischen Dämmstoffen, bezogen auf einen kg Dämmstoff, deutlich schlechter im Vergleich zu den anderen Materialien. Das positive Ergebnis von EPS in der Abbildung 3.35 begründet sich in der geringen Dichte des Dämmstoffs und der geringen Wärmeleitfähigkeit.

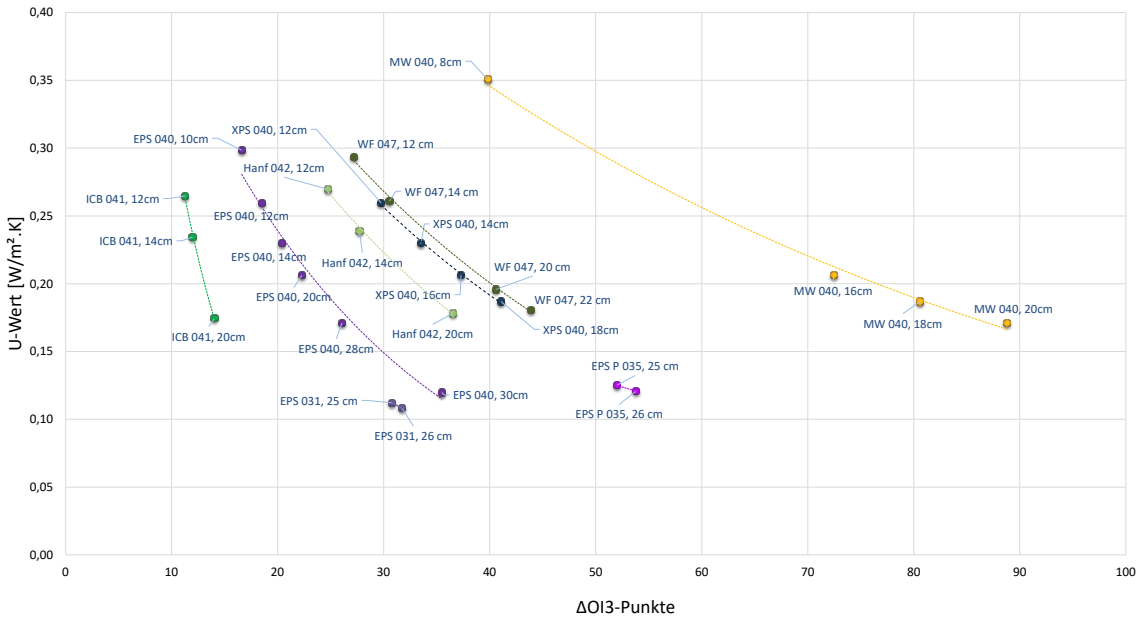


Abbildung 3.35: ΔOI3 unterschiedlicher Dämmstoffe inkl. Putz, Ausgangs-U-Wert 1,2 W/m².K,
[Eigene Darstellung]

In selbiger Weise, wie der Vergleich des ΔOI3 werden auch die Kosten von WDVS mit unterschiedlichen Dämmstoffen in Abbildung 2.36 verglichen. Bei den verglichenen Materialien zeigt sich, dass die ökologischen Dämmstoffe teurer sind als die synthetisch organischen und mineralischen Dämmstoffe.

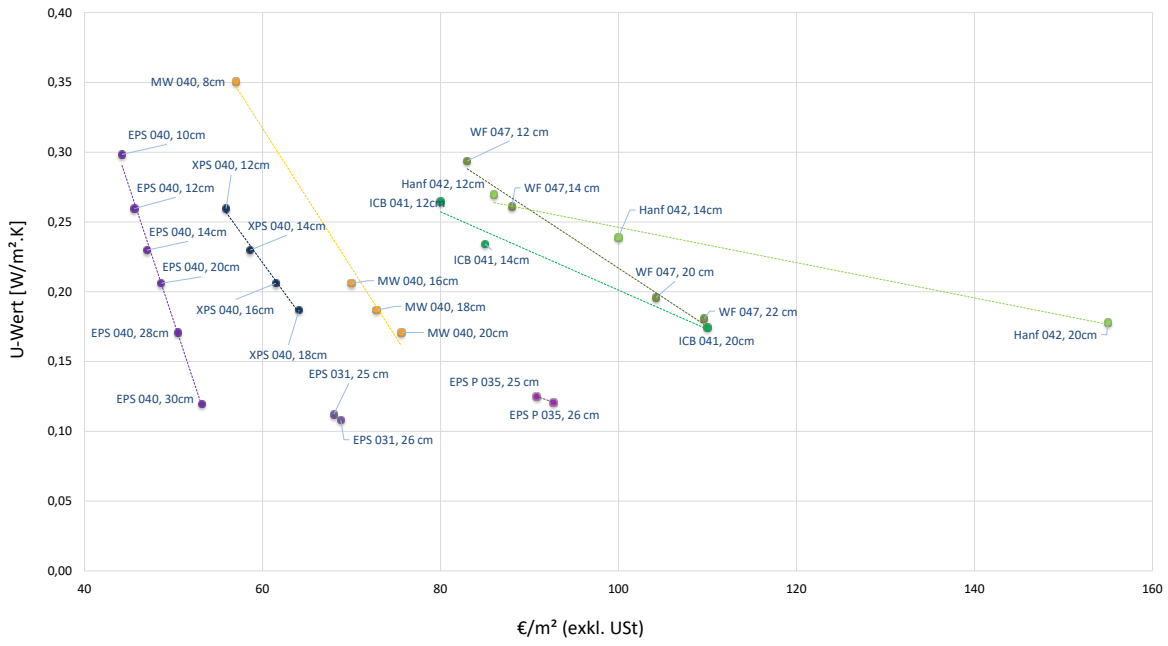


Abbildung 3.36: Preise unterschiedlicher Dämmstoffe inkl. Putz, Ausgangs-U-Wert 1,2 W/m².K
[Eigene Darstellung]

3.6 Entsorgung und Recycling

3.6.1 Abfallrechtliche Grundlagen

3.6.1.1 EU-Abfallrahmenrichtlinie und Abfallwirtschaftsgesetz

Die Richtlinie 2008/98/EG des europäischen Parlaments und des Rats vom 19. November 2008 über Abfälle, in Folge Abfallrahmenrichtlinie bezeichnet, gibt folgende fünfstufige Hierarchie für den Umgang mit Abfällen vor:

a) Vermeidung
b) Vorbereitung zur Wiederverwendung
c) Recycling
d) Sonstige Verwertung, z.B. energetische Verwertung
e) Beseitigung

Die Bestimmungen der Abfallrahmenrichtlinie wurden durch die AWG-Novelle 2010 [BGBl. I 2011/9], mit welcher das Abfallwirtschaftsgesetz (AWG) 2002 geändert wurde, in nationales Recht umgesetzt.

Das AWG sieht in Folge vor, dass im Zusammenhang mit der Abfallhierarchie die ökologische Zweckmäßigkeit und die technischen Möglichkeiten zu berücksichtigen sind, die entstehenden Mehrkosten im Vergleich zu anderen Verfahren der Abfallbehandlung nicht unverhältnismäßig sind und dass ein Markt für die gewonnenen Stoffe bzw. Energien vorhanden ist oder geschaffen werden kann. Unter Berücksichtigung davon ist eine Abweichung der Hierarchie zulässig, wenn die gesamthafte Betrachtung, bezogen auf die gesamten Auswirkungen bei der Erzeugung und Verwertung eines Produkts sowie Sammlung und Behandlung der anfallenden Abfälle als Ergebnis hat, dass eine andere Option das beste Ergebnis bezogen auf dem Umweltschutz darstellt [BGBl. I 2002/102].

Nicht verwertbare Abfälle sind in Abhängigkeit ihrer Beschaffenheit mit Hilfe von biologisch, thermisch, chemisch oder physikalisch Verfahren zu behandeln und feste Rückstände reaktionsarm ordnungsgemäß abzulagern. Die Abfallwirtschaft muss dahingehend ausgerichtet werden, dass unionsrechtliche Zielvorgaben, besonders jene im Zusammenhang mit dem Recycling, erreicht werden [BGBl. I 2002/102].

Nach der Abfallrahmenrichtlinie haben die Mitgliedstaaten dafür zu sorgen, bis 2020 bei nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen die Vorbereitung zur Wiederverwendung, das Recycling und die sonstige stoffliche Verwertung auf zumindest 70 Gewichtsprozent erhöht wird. Ausgenommen davon sind in der Natur vorkommende Materialien, die im europäischen Abfallkatalog in der Kategorie 17 05 04 definiert sind [Richtlinie 2008/98/EG].

Dem Code 17 05 04 des EU-Abfallverzeichnisses (2000/532/EG) sind laut EDM [BMLFUW 2014a] Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03 fallen zuzuordnen. Der Kategorie 17 05 03 sind Boden und Steine zugeordnet, die gefährliche Stoffe enthalten.

Demzufolge gilt für Dämmstoffe, welche als nicht gefährliche Abfälle bei Bau- und Abbrucharbeiten anfallen, der oben genannte Richtwert von 70 Gewichtprozent, die recycelt werden sollen.

3.6.1.2 Baurestmassentrennverordnung [BGBl. Nr. 259/1991]

Die Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien, in Folge Baurestmassentrennverordnung genannt, ist seit 1. Jänner 1993 in Kraft. Die Baurestmassentrennverordnung regelt, welche Stoffgruppen ab welchen Mengenschwellen bei Bau- und Abbruchtätigkeiten zu trennen sind. Die für diese Verordnung relevanten Stoffgruppen sowie die dazugehörigen Mengenschwellen sind in Tabelle 3.7 ersichtlich.

Die Trennung der Stoffgruppen muss entweder am Ort des Anfallens oder bei der Behandlungsanlage erfolgen. Die Trennung hat in der Form zu erfolgen, dass eine Verwertung der einzelnen Stoffgruppen möglich ist.

Tabelle 3.7: Stoffgruppen und Mengenschwellen der Baurestmassentrennverordnung
Eigen Darstellung nach [BGBl. Nr. 259/1991]

	Mengenschwelle [t]		Mengenschwelle [t]
Bodenaushub	20	Metallabfälle	2
Betonausbruch	20	Kunststoffabfälle	2
Asphaltaufbruch	5	Baustellenabfälle	10
Holzabfälle	5	Mineralischer Bauschutt	40

3.6.1.3 Deponieverordnung [BGBl. II Nr. 39/2008]

Die Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (DVO 2008) trat mit 1. März 2008 in Kraft. Die DVO 2008 unterscheidet die Deponieklassen Bodenaushubdeponie, Inertabfalldeponie, Deponie für nicht gefährliche Abfälle und Deponie für gefährliche Abfälle (nur als Untertagdeponie). Der Deponie für nicht gefährliche Abfälle sind die Unterklassen Baurestmassendeponie, Reststoffdeponie und Massenabfalldeponie zugeordnet.

Lediglich behandelte Abfälle dürfen deponiert werden. Ausgenommen von dieser Regelung sind Inertabfälle und andere Abfälle, sofern unter Berücksichtigung des Verhältnismäßigkeitsprinzips eine Behandlung nicht zur Verringerung der Abfallmenge oder der Gefährdung der menschlichen

Gesundheit oder der Umwelt führt.

Weiters dürfen nach § 7 keine Abfälle, welche einen Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) im Feststoff von mehr als fünf Masseprozent aufweisen deponiert werden. Ausgenommen hiervon sind Abfälle, welche in Anhang 2 aufgelistet sind (siehe in Folge), Abfälle von magnesit- und zementgebundenen Holzwolledämmplatten, zementgebundenen Holzspanbeton usw., wenn die Ablagerung auf Baurestmassen- oder Massenabfalldeponien erfolgt. Eine weitere Ausnahme ist, dass Rückstände aus der mechanischen Abfallbehandlung in Massenabfalldeponien abgelagert werden dürfen, wenn die Rückstände einen Brennwert von max. 6.600 kJ/kg Trockenmasse und einen TOC-Gehalt von weniger als acht Masseprozent aufweisen.

Ohne Berücksichtigung des TOC-Gehaltes wäre bereits, begründet durch den hohen Heizwert (> 6,6 MJ/kg) der organischen Dämmstoffe, eine Deponierung bei ausschließlich mechanischen Aufbereitung nicht zulässig (siehe Tabelle 3.8).

Tabelle 3.8: Heizwert ausgewählter organischer Dämmstoffe
Eigene Darstellung nach [Buschmann 2003]

	Synthetische Dämmstoffe			Natürliche Dämmstoffe		
	EPS	XPS	PUR	WF	ICB	Hanf
Heizwert [MJ/kg]	39,9	47	25	18	16,7	16 bzw. 16,9*

* mit Polyester-Stützfasern

Anhang 2 der DVO 2008 regelt welche Baurestmassen ohne analytische Untersuchung für die grundlegende Charakterisierung angenommen und abgelagert werden dürfen. Laut Liste 1 darf Bauschutt, als eine Mischung aus ausgewählten Abfällen aus Bau- und Abrissmaßnahmen unter gewissen Umständen auf Inertabfall- und Reststoffdeponien abgelagert werden. Folgende Materialien werden dabei Bauschutt zugerechnet: Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik, Glas, Naturstein, Kies, Sand, gebrochene natürliche Materialien und Kalkstein.

Tabelle 3.9: DVO 2008 Anhang 2, Liste 1
[BGBl. II Nr. 39/2008]

Schlüssel-Nummer	Sp	Bezeichnung	Spezifizierung	Hinweise betreffend die Ablagerung
31407	17	Keramik	nur ausgewählte Abfälle aus Bau- und Abrissmaßnahmen	
31408	17	Glas (zB Flachglas)	nur ausgewählte Abfälle aus Bau- und Abrissmaßnahmen	
31409	18	Bauschutt (keine Baustellenabfälle)	nur Mischungen aus ausgewählten Abfällen aus Bau- und Abriss-maßnahmen	ausgewählte Abfälle aus Bau- und Abrissmaßnahmen: Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik und Glas, Natursteine, Kies, Sand, gebrochene natürliche Materialien und Kalksandstein
31411	29	Bodenaushub	Bodenaushubmaterial mit Hintergrund-belastung	Bodenaushubmaterial gemäß § 13 Abs. 1 Z 3
31411	31	Bodenaushub	Klasse A2	Bodenaushubmaterial gemäß § 13 Abs. 1 Z 3
31411	33	Bodenaushub	Baurestmassenqualität	für die Ablagerung auf einer Inert-abfalldeponie, ausgenommen Ober-boden und Torf; Bodenaushubmaterial gemäß § 13 Abs. 1 Z 3
31427	17	Betonabbruch	nur ausgewählte Abfälle aus Bau- und Abrissmaßnahmen	

Entsprechend Anhang 2 Liste 2 ist es zulässig, Mineralwolle auf Baurestmassen- und Massenabfalldeponie abzulagern. Eine Ablagerung von MW und den anderen im Anhang 2, Liste 2 aufgezählten Materialien, wie beispielsweise Bauschutt, Straßenaufbruch, und Gips, ist ohne analytische Untersuchung für die grundlegende Charakterisierung möglich, sofern Bauwerksbestandteile aus Metall, Kunststoff, Holz oder anderen organischen Materialien höchsten im Ausmaß von 10 Volumprozent enthalten sind.

Tabelle 3.10: DVO 2008 Anhang 2, Liste 2
[BGBl. II Nr. 39/2008]

Schlüssel-Nummer	Sp	Bezeichnung und Spezifizierung	Hinweise betreffend die Ablagerung
31409		Bauschutt (keine Baustellenabfälle)	nur Gemische aus Beton, Ziegel, Fliesen, Keramik und Glas, Natursteine, Kies, Sand, gebrochene natürliche Materialien und Kalk-sandstein, Mörtel und Verputze, Faserzement, magnesit- und zementgebundene Holzwolle-dämmbauplatten und zementgebundener Holzspanbeton
31410		Straßenaufbruch	
31414		Schamotte	Kaminsteine und Schamotte, sofern sie nicht aus Gewerbe- oder Industrieanlagen stammen
31416		Mineralfasern	Mineralwolle (Glas- und Steinwolle) [1])
31438		Gips	auch Mauersteine auf Gipsbasis, Mörtel und Verputze, Stuckaturmaterial, Gipskarton-platten
54912		Bitumen, Asphalt	auch Dachpappe auf Bitumenbasis

[1]) Staubförmige Emissionen und das Freisetzen von Fasern sind zu vermeiden.

3.6.2 Abfallaufkommen

Das Abfallaufkommen aus dem Bauwesen machte laut dem Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011 [BMLFUW 2012] im Jahr 2009 mit knapp 6,9 Mio. Tonnen rund 13 % des Gesamtabfallaufkommens Österreichs aus. Unter Abfälle aus dem Bauwesen sind Materialien zu verstehen, welche bei Bau-Umbruch und Abbruchtätigkeiten anfallen. Nur etwa 10 % dieser Abfallkategorie fallen im Zusammenhang mit Neubauten an, der weitaus höhere Anteil stammt von Abbruch-, Umbau- und Sanierungsmaßnahmen.

Derzeit ist die anfallende WDVS-Abfallmenge von Abriss- bzw. Systemrückbau noch äußerst gering, in Deutschland bspw. fallen jährlich lediglich 0,1 % der neu verbauten WDVS als Abfall an. Grundlegend für diese geringe Menge ist, dass Bauten aus den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts vielfach mittels Aufdoppelung des WDVS an die geltenden Energiestandards angepasst werden, anstatt rückgebaut zu werden. Zukünftig ist allerdings mit einem erheblichen Anstieg der WDVS-Abfälle zu rechnen, wenn die Gebäude aus den Anfangszeiten der Verwendung von WDVS das Ende ihres Lebenszyklus erreichen und abgebrochen werden. Die Abfallmenge an Materialverschnitt bei der Implementierung neuer WDVS liegt im Bereich von 3 % bis 7 %. In Bezug auf die in Deutschland im Jahr 2011 verbaute EPS-Gesamtmenge von 4,2 Mio. m^3 ergibt sich dadurch eine Rückführmenge von rund 125.000 m^3 (3 %) bis rund 290.000 m^3 (7 %) [Detail 2012].

3.6.3 Nachnutzung und Entsorgung von Dämmstoffen

Die Nachnutzungs- und Entsorgungsmöglichkeiten hängen im hohen Maß von den Produkteigenschaften des Dämmstoffs ab. Innerhalb dieses Abschnitts wird lediglich auf die Nachnutzungs- und Entsorgungsmöglichkeiten von Dämmstoffen eingegangen, die stoffliche Einbindung in das WDVS wird dabei nicht berücksichtigt (siehe dazu Punkt 3.6.4).

Es werden hier lediglich die Nachnutzungs- und Entsorgungsmöglichkeiten von Steinwolle als Vertreter der anorganischen Dämmstoffe, EPS als Vertreter für die synthetisch organischen Dämmstoffe und Hanffaser- sowie Holzfaserdämmplatten als Vertreter für die natürlich organischen Dämmstoffe betrachtet und verglichen.

3.6.3.1 Steinwolle – anorganische Dämmstoffe

Bei Steinwolle ist grundsätzlich Produktrecycling möglich. Im Zusammenhang mit dem Materialrecycling ist eine Reinigung und gegebenenfalls Entfernung von Kaschierungen notwendig, bevor die Steinwolle eingeschmolzen und weiterverarbeitet werden kann [Bointner et al 2012].

Die Wiederverwertungsquote von Steinwolle ist allerdings äußerst gering. Grundlegend hierfür ist das Fehlen einer Sammel- und Rückführlogistik für Steinwolle-Dämmstoffe. Eine Ausnahme hierfür stellt der MW-Produzent Rockwool dar. Rockwool bietet ein Abfall-Rücknahme-Service an, allerdings nur für große Abfallmengen, wie etwa für Mineralwolle-Abfälle von Industriedächern [Gaubner & Clanget-Hulin 2013].

Eine thermische Verwertung oder Kompostierung ist, da es sich um einen anorganischen Stoff handelt, nicht möglich [Bointner et al 2012].

3.6.3.2 EPS – synthetisch organische Dämmstoffe

Bei EPS ist sowohl Produkt- als auch Materialrecycling grundsätzlich möglich. Bei einer losen Verlegung wäre eine Wiederverwendung von EPS denkbar [Bointner et al 2012]. Sauberes EPS, wie etwa Baustellenverschnitt oder Abfälle in der Produktion, kann dem Produktionsprozess zurückgeführt werden [Gaubner & Clanget-Hulin 2013].

Wenig verunreinigtes Alt-EPS kann zerkleinert für Schüttungen oder auch als Zuschlagstoff für Wärmedämmputze, Leichtbeton und Leichtsteine verwendet werden. Ebenso wäre ein Einsatz als Bodenhilfsstoff bei Drainagen denkbar. Weiters wäre eine Weiterverwertung durch Entgasen und Einschmelzen möglich. Im Rahmen eines Downcyclingprozesses könnten etwa Spritzgussartikel und Extrusionsprodukte, wie etwa Palisaden und Gartenmöbel, hergestellt werden [Gaubner & Clanget-Hulin 2013].

Durch die Aufnahme des HBCD (Hexabromcyclododecan) in die Stockholmer Konvention ist es nicht zulässig HBCD-haltiges EPS einfach zu recyceln und als Recyclat zu vermarkten. Die genannten Verwertungsmethoden sind demnach nur für HBCD-freies EPS denkbar. Entsprechend wäre eine Trennung von EPS Abfällen in Abhängigkeit des Flammschutzmittels sinnvoll. Übliche Schnellanalysegeräte können Materialien nicht nach HBCD und neueren Flammschutzmittel sortieren. Folglich wäre eine Entwicklung geeigneter Verfahren hierfür zielführend [Mäuer & Schlummer 2014]

Denkbar wäre das End-of –Life Szenario thermische Verwertung, da dabei das im Polymergerüst verankerte HBCD zu 99,99999 % vernichtet wird [Mäuer & Schlummer 2014].

EPS lässt sich sehr gut thermisch verwerten, da der Heizwert mit knapp 40 MJ/ kg als sehr hoch einzustufen ist. Es sei darauf hingewiesen, dass bei ungünstigen Verbrennungsbedingungen bromierte Furane und Dioxine und Bromwasserstoff entstehen können. EPS soll demnach nur in Abfallverbrennungs- oder Mitverbrennungsanlagen verbrannt werden [Bointner et al 2012].

Der Heizwert von EPS ist mit jenem von Heizöl vergleichbar. Bei der thermischen Verwertung von EPS in Müllverbrennungsanlagen, ersetzt der Kunststoff die notwendige Stützfeuerung. 1 kg EPS substituiert etwa 1,3 l Heizöl [IVH o.J.a].

EPS stellt nach Heiduk (2012) sogar einen begehrten Brennstoff in der Müllverbrennung dar. Grund hierfür ist, dass mit zunehmender Mülltrennung der Heizwert des Hausmülls abnimmt und eine Müllverbrennungsanlage zur Minimierung der Schadstoffemissionen gewisse Verbrennungstemperaturen erreichen muss. Wie bereits unter Punkt 3.6.1 erläutert, wäre eine Deponierung von EPS nur nach thermischer Vorbehandlung zulässig.

Die ressourceneffiziente Alternative, die Rückgewinnung des Polystyrols, wäre nur bei vorheriger Abtrennung des HBCD möglich. Technisch wäre dies mit dem CreaSolv® Prozess möglich. Aus dem abgetrennten Flammschutzmittel könnte mittels thermischer Behandlung das Brom rückgewonnen werden [Mäuer & Schlummer 2014]. Weiters könnte der CreaSolv® Prozess die Transportproblematik lösen.

Ein Problem bei der Entsorgung von EPS sind die hohen spezifischen Transportkosten, begründet durch die niedrige Schüttdichte von etwa 6,5 kg/m^3. Weiters können aufgrund der mangelhaften Reinigungsleistung und mangelnder Wirtschaftlichkeit keine hochwertigen Recyclate aus dem verschmutzten EPS hergestellt werden. Folglich wird in der Praxis der größte Anteil thermisch verwertet. Nicht zuletzt zeigen sich in der Praxis Probleme das EPS-Abfälle unterschiedlicher Herkunft (Bau- und Verpackungsbereich) ungenügend voneinander separiert werden. EPS-Abfälle aus dem Baubereich müssen allerdings wegen ihres Inhalts an Flammschutzmitteln speziell entsorgt werden, da sonst bromhaltige Materialien auch in ungewünschte Bereiche (Verpackungen) gelangen können. Derzeit arbeitet das Fraunhofer Institut an einem Verfahren für das Recycling von EPS. Ziel dabei ist, aus verschmutzten EPS-Abfällen wiederaufschäumbares Polystyrol erzeugt werden kann sowie ein Konzept zur Reduktion der Transportkosten von EPS-Abfällen. Das Recycling erfolgt nach dem CreaSolv®-Prozess, welche auf selektive Extraktion beruht. Die Prozessschritte sind a.) selektive Auflösen des EPS, b.) Reinigung der Lösung von Fremd- und Störstoffen wie etwa bromierte Flammschutzmitteln und c.) Fällung des gereinigten EPS. Durch die Wahl von passenden Prozessparametern und Chemikalien kann reexpandiertes Polystyrol hoher Qualität erzielt werden. Weiters kann eine starke Volumenreduktion, bis zum Faktor 50, durch die Aufnahme des EPS in der kennzeichnungsfreien Flüssigkeit, erreicht werden und damit die Transportkosten deutlich reduziert werden [Fraunhofer IVV o.J].

Beim Rückbau von Wärmedämmverbundsystemen mit EPS bleiben Anhaftungen des Armierungsputzes auf dem Dämmstoff, näheres dazu findet sich unter Punkt 3.6.4. Entsprechend der Anforderungen der Polystyrol-Recyclierer sind mineralische Anhaftungen auf dem EPS allerdings derzeit verfahrensbedingt nicht zulässig [Gaubner & Clanget-Hulin 2013].

3.6.3.3 Hanfdämmplatte mit Stützfasern und Holzfaserdämmplatten– natürlich organische Dämmstoffe

Hanfdämmplatten sind kompostierbar, wenn sie stärkegebunden sind, nachdem sie zerkleinert und mit anderen Materialien vermischt wurden bzw. Hanf, welcher mit Ammoniumsalzen behandelt wurde. Angemerkt sei allerdings, dass neben Kartoffelstärke auch Polyesterfasern bei Hanfdämmplatten Einsatz finden [Bointner et al 2012]. Auf die Thematik von synthetischen Bestandteilen bei natürlich organischen Dämmstoffen wird unter Punkt 3.7.2.2 eingegangen.

Neben Produktrecycling wäre auch Materialrecycling für Hanfdämmplatten möglich. Nach einer

Zerfaserung bzw. Zerkleinerung wäre ein Einsatz als Dämmmatten oder Hohlraumflocken möglich. Da es sich bei Hanfdämmplatten um einen organischen Dämmstoff handelt, ist eine thermische Verwertung ebenso denkbar. Der Heizwert ist mit rund 17 MJ/kg als mittel einzustufen. Wie bei anderen organischen Dämmstoffen wäre bei Hanfdämmplatten lediglich eine Deponierung nach einer thermischen Vorbehandlung erlaubt [Bointner et al 2012].

Unbeschädigte, nicht mineralisch verunreinigte Holzfaserdämmplatten (WF) können weiterverwertet werden. Wenn allerdings ein sortenreiner Rückbau nicht möglich ist, werden WF der energetischen Verwertung zugeführt. Bei der Studie von Gaubner & Clanget-Hulin (2013) über den Rückbau von WDVS (siehe nächstes Kapitel) war die mineralische Verunreinigung bei der WF so gering, dass das Materialrecycling als Sekundärmaterial bzw. eine Wiederverwertung im Nassverfahren grundsätzlich denkbar gewesen wäre. Da allerdings die Qualitätsanforderungen an WF-Sortenreinheit sehr hoch sind, wäre eine Aufbereitung in Form einer Reinigung erforderlich. Da dieser Aufbereitungsschritt für WF im Produktionsprozess nicht vorgesehen ist, werden WF von WDVS der thermischen Verwertung zugeführt [Gaubner & Clanget-Hulin 2013].

3.6.4 Trennung der Systemkomponenten von Wärmedämmverbundsystemen

Unter Punkt 3.6.3 wurde zuvor auf die Möglichkeiten eingegangen unterschiedliche Dämmstoffabfälle, welche üblicherweise bei WDVS Einsatz finden, zu recyceln. Um die Rückbaufähigkeit und Wiederverwendungsmöglichkeit von Dämmstoffen bewerten zu können, ist allerdings die Art der Konstruktion und Befestigung von zentraler Bedeutung. Das Ministerium für Umwelt, Natur und Forste des Landes Schleswig-Holstein bzw. Buschmann (2003) hat hierfür ein Bewertungsschema entwickelt und diverse Dämmstoffe in Hinblick auf ihren Rückbauaufwand zur Bereitstellung für Wiederverwendung, Wiederverwertung und Weiterverwendung, Weiterverwertung verglichen.

Im Zusammenhang mit der Nachnutzung wurde die Eignung für die Verwendung bzw. Verwertung nach dem Rückbau sowie den Aufwand zu einem schadensfreien und sortenreinen Rückbau in Abhängigkeit der Befestigung berücksichtigt. Im Zusammenhang mit der Befestigung wurde zwischen lose (keine feste mechanische Verbindung), punktuell (dauerhafte punktuelle Verbindung) und flächig (dauerhafte, flächige Verbindung) unterschieden [Buschmann 2003].

Abbildung 3.37 verdeutlicht, welchen erheblichen Einfluss eine flächige Befestigung, die bei WDVS gegeben ist, im Vergleich zu einer losen Befestigung, wie man sie etwa bei einer Innendämmung auffinden kann, hat. Die Möglichkeiten des Recyclings werden durch eine flächige Befestigung deutlich erschwert. Ebenso zeigt der Vergleich zwischen MW, EPS und WF, dass der ökologische Dämmstoff, bezogen auf die Wiederverwendung, Weiterverwendung, Wiederverwertung und Weiterverwertung grundsätzlich am günstigsten zu bewerten wäre (bei loser Befestigung). Bei flächiger Befestigung ist nach der Auffassung von Buschmann (2003) hingegen dem EPS der Vorzug zu geben. So wäre hierbei der Rückbauaufwand sehr hoch, allerdings möglich im Gegensatz zu MW und WF.

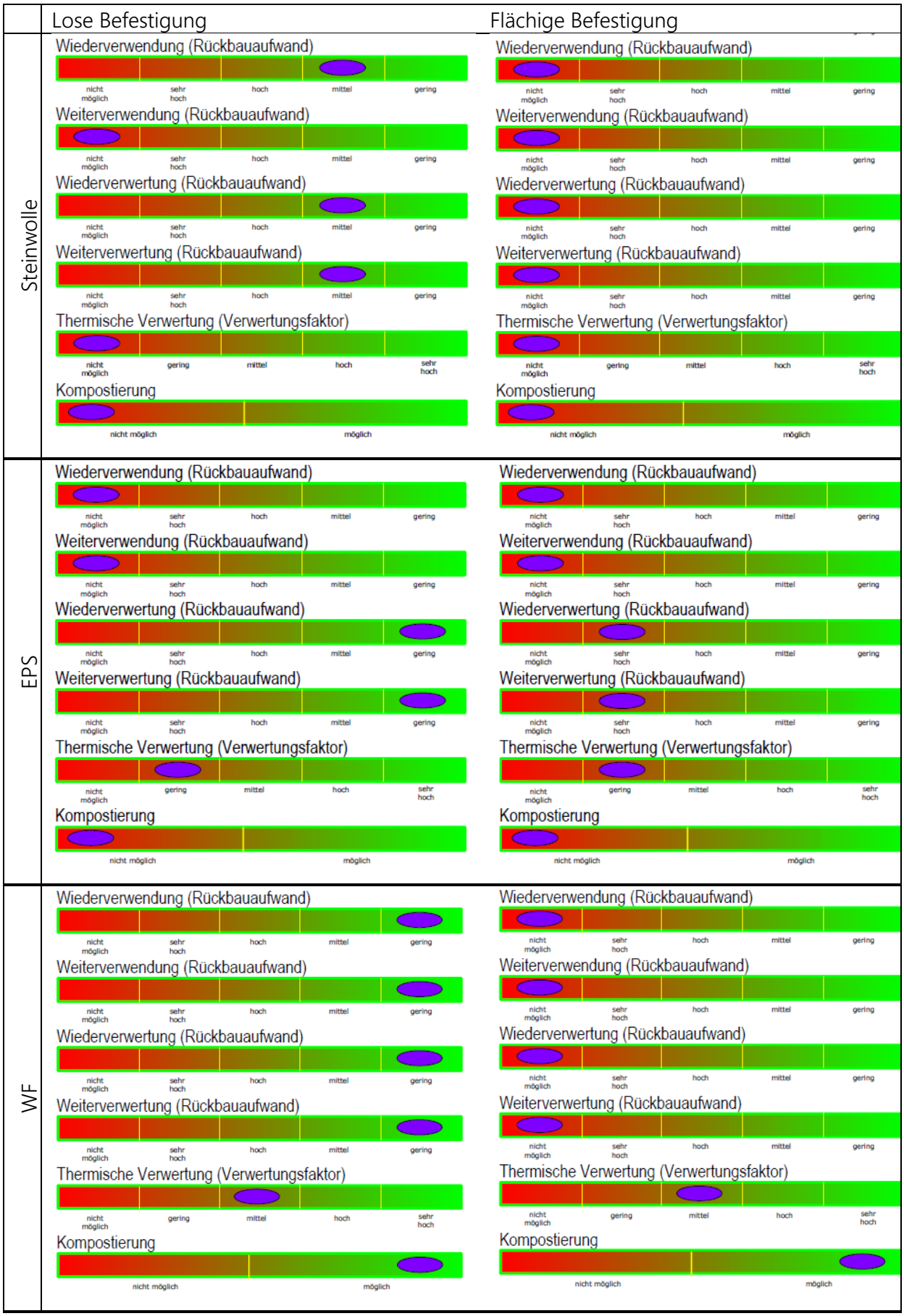


Abbildung 3.37: Vergleich lose und flächige Befestigung bei MW, EPS und WF

In Anlehnung an [Buschmann 2008]

Es sei allerdings angemerkt, dass ein Rückbau aller drei Systeme (MW, EPS und WF) grundsätzlich möglich ist. Dies wird in weiterer Folge dieses Kapitels noch dargestellt. Neben den Möglichkeiten des Produkt- und Materialrecyclings ist auch der thermische Verwertungsfaktor der drei Dämmstoffe ersichtlich.

Der thermische Verwertungsfaktor trifft über das Verhältnis zwischen Heizwert und Primärenergieinhalt eine Aussage über die Rückgewinnung der zur Herstellung des Dämmstoffs aufgewendeten Energie [Buschmann 2008].

Den günstigsten thermischen Verwertungsfaktor der verglichenen Dämmstoffe weist die Holzfaserdämmplatte auf. Der thermische Verwertungsfaktor von WF wird als mittel eingestuft, während der Verwertungsfaktor für EPS als gering anzusehen ist. Steinwolle als anorganisches Material ist nicht thermisch verwertbar.

Nach Gerd Hauser, Professor für Bauphysik an der TU München und Direktor des Fraunhofer Instituts, gibt es bereits Möglichkeiten, welche einen sortenreinen Rückbau von WDVS ermöglichen. Allerdings sind diese, begründet durch die geringen Mengen an rückgebauten WDVS noch unwirtschaftlich. Im Fraunhofer Institut für Bauphysik wird gemeinsam mit dem Forschungsinstitut für Wärmeschutz München an einem Forschungsprojekt gearbeitet, welches untersucht welche Abschältechniken sich für WDVS als geeignet erweisen. Mit rotierenden Messern, die zum Lösen von PVC-Böden vom Betonuntergrund verwendet werden, könnte etwa auch die Putzschicht von Fassaden entfernt und damit die blanke Dämmschicht freigelegt werden [Detail Green 2013].

Eine weiter Studie des Fraunhofer Instituts für Bauphysik untersuchte bereits die Trennbarkeit von Materialschichten hybrider Außenbauteile. Dabei lag u.a. der Fokus auf dem Rückbau von Wandaufbauten. Als funktionelle Einheit für die Ergebnisdarstellung wurde dabei 1 m^2 WDVS gewählt. Ein Flussdiagramm der notwendigen Arbeitsschritte im Zusammenhang mit dem Rückbau eines WDVS ist in Abbildung 3.38 ersichtlich.

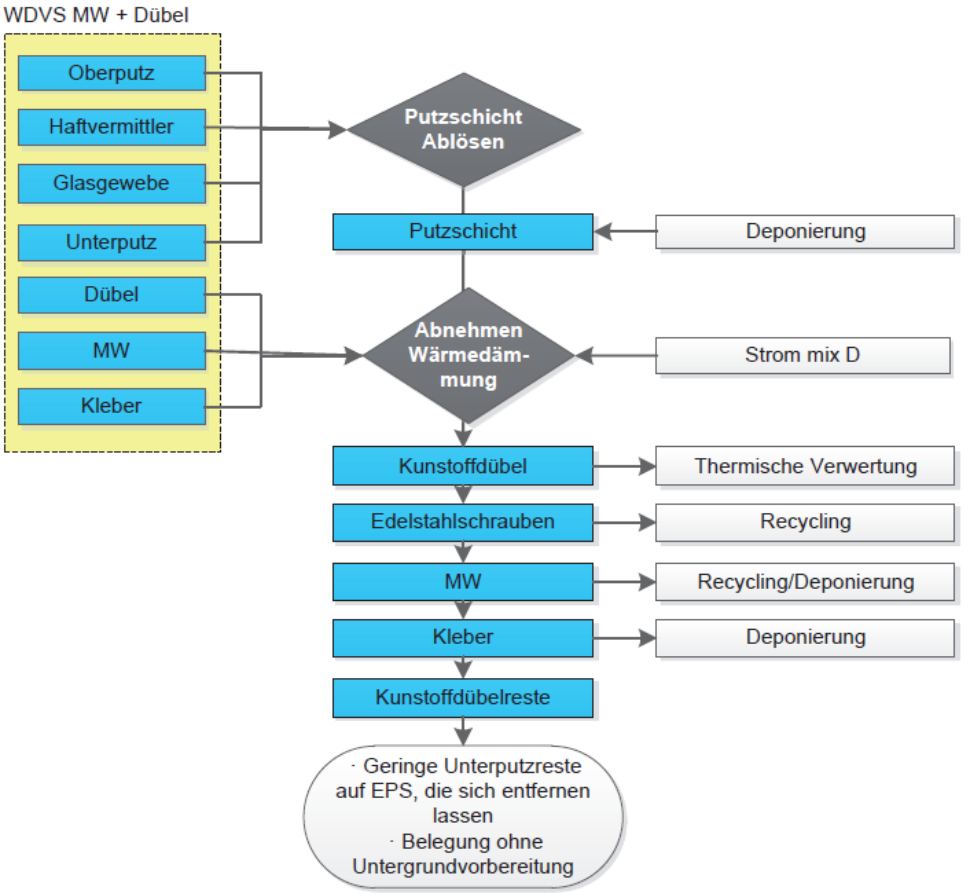


Abbildung 3.38: Flussdiagramm für den Rückbau des WDVS mit dem Dämmstoff MW bei Befestigung mit Dübel [Gaubner & Clanget-Hulin 2013].

Der Versuch zeigte, dass sich die Putzschicht als komplette Schicht problemlos von der Dämmplatte entfernen ließ. Die Oberflächenqualität unterschied sich zwischen EPS und den Faserdämmstoffen. Bei der Mineralfaserdämmplatte löste sich eine Faserschicht von etwa 0,5 bis 3 mm und bei der Holzfaserdämmplatte von ca. 2-3 mm bei der Komponentenseparation mit der Armierungsschicht. Bei der EPS-Dämmplatte lösten sich zum Teil kleine Poren und kleine Stücke mit einer max. Größe von 1 cm [Gaubner & Clanget-Hulin 2013].

Nach Entfernung bzw. Trennung einer etwaigen Verdübelung, können die Dämmplatten vom Untergrund mittels Mauerkelle bei MW und WF oder Elektrohammer bei EPS gelöst werden. Wie zuvor gab es hier einen Unterschied zwischen Faser- und synthetischem Schaum-Dämmstoff. Beim Lösen von MW und WF kam es zu einer erheblichen Faserentwicklung, welche für Augen und Schleimhaut reizend ist. Im Grunde ließen sich sowohl MW als auch WF problemlos als ganze Platten vom Kleber lösen, lediglich geringe Rückstände von 1-4 mm (MW) bzw. 1-5 mm (WF) verblieben am Kleber. Die Trennung der EPS-Platten erwies sich als deutlich zeitintensiver und schwieriger. Das EPS konnte nur in Teilstücken mittels Elektrohammer vom Kleber getrennt werden. Die Rückstände von EPS am Kleber lagen im Bereich von 0-10 mm [Gaubner & Clanget-Hulin 2013].

Der Zeitaufwand für den Rückbau von MW und WF war bei der Studie von Gaubner und Clanget-Hulin (2013) annähernd gleich gering. Der Rückbau von EPS dauert rund doppelt so lange. Die erforderlich Zeit war im Durchschnitt bei MW 4,2 min/m², WF 4,6 min/m² und bei EPS 8,7 min/m². Die genannten Zeitangaben beziehen sich ausschließlich auf die Prozesschritte Reinigung der Dämmung (nach Rückbau der Putzschicht), entfernen der Dämmschicht und Reinigung des Dämmstoffes. Einen Übersicht über den gesamten Arbeitsaufwand für den Rückbau der unterschiedlichen WDVS bietet Tabelle 3.11

Tabelle 3.11: Übersicht über In- und Outputflüsse und Arbeitsaufwand beim Rückbau unterschiedlicher WDVS, Modifiziert übernommen von [Gaubner & Clanget-Hulin 2013]

Übersicht In- und Outputflüsse/Arbeitsaufwand		Arbeitszeit MA in min/m²			Hilfsmittel Wh/m²			Material kg/m²		
		Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max	Min	Mittel	Max
Rückbau WDVS:										
Entfernen Oberputz										
Entfernen Putzschicht		0,8	0,9	1,4		0		5,8	6,7	7,5
Reinigen Dämmung	EPS	1,0	1,6	2,6		0		0,1	0,6	0,9
	MW	0,8	1,4	2,0		0		0	0,3	1,0
	WF	0,4	0,9	2,0		0		0	0,4	0,9
Entfernen Wärmedämm-stoffhalter	Schlagdübel	1,0	1,6	2,5	7,1	8,8	12,5	0	0,1	0,1
	Schraubdübel	1,3	2,1	2,5	0*	6,1	11,9	0,1	0,1	0,1
	lösen Schraube	1,0	2,6	5,0	0,2	1,0	1,2	0,2	0,2	0,2
Entfernen Dämmstoff	EPS	1,4	5,4	12,0	0	4,5	21,8	1,2	1,5	1,8
	MW	0,8	1,9	4,4		0		9,2	9,5	9,7
	WF	1,0	2,4	4,0	5,5	7,9	9,2	16,5	16,7	16,9
Reinigen Dämmstoff	EPS	1,0	1,7	3,5		0		0	0,4	0,9
	MW	0	0,9	1,9		0		0	0,3	0,7
	WF	0	1,3	2,8		0		0	0,3	0,9
Entfernen Kleber	STB-Wand	2,0	3,7	7,0	0	15,0	36,7	3,8	4,3	4,5
	KS-Wand	7,2	8,3	9,3	37,7	51,9	56,6	3,5	4,1	4,9
	Poroton-Wand	6,5	8,4	10,4	39,9	57,8	79,7	3,8	8,4	23,9
	Porenbeton-Wand	3,5	9,0	13,2	15,2	42,5	68,3	4,4	5,3	6,6
Entfernen Dübel	STB-Wand	1,0	1,7	2,0	3,8	6,2	11,9	0	0	0,1
	KS-Wand	1,0	1,4	2,0	4,0	4,9	7,5	0	0	0,1
	Poroton-Wand	1,0	1,2	2,0	3,8	6,1	10,0	0	0	0,1
	Porenbeton-Wand	0	0,5	1,0	0	2,5	3,8	0	0	0,0

Die Studie von Gaubner & Clanget-Hulin (2013) hat zum Ergebnis, dass keines der Materialen von WDVS sortenrein separiert werden kann. Anzumerken ist allerdings, dass der Weiterverwertungsweg im hohen Maß vom Grad der Sortenreinheit abhängt und nicht immer eine hundertprozentige Sortenreinheit gefordert ist.

In Tabelle 3.12 ist die Massen- und Volumenbilanz der rückgebauten Wärmedämmverbundsysteme ersichtlich. Es zeigt sich dabei, dass die höchsten Fremdstoffanhaftungen bei EPS aufzufinden waren. Bezogen auf die Masse waren 17% Fremdstoffe und bezogen auf das Volumen 0,19 % Fremdstoffe beim EPS. Bei den anderen beiden Dämmstoffen waren die Fremdmaterialanhaftungen deutlich geringer, MW 0,48 M-% bzw. 0,03 V-% und WF 0,27 M-% bzw. 0,03 V-%.

Tabelle 3.12: Massen und Volumsbilanz beim WDVS-Rückbau
[Gaubner & Clanget-Hulin 2013]

Baustoff	Fremdstoffanteil			Einfluss auf Wirkungsabschätzung Rückbau pro m² Bauteil
	Fremd-stoff	Masse in %	Volu-men in %	
WDVS				
Putzschicht	Glasfaser-armierung	ca. 2,5 %	k.A.	EoL: Deponierung + Reduktion Masse um 15%
EPS + Armierungs- bzw. Klebemörtel	mineral. Mörtel	ca. 17%	0,19%	EOL: thermische Verwertung + Massenabzug aus Mörtelanhaftungen (→ Schlacke): Masse ca. um ca. 0,25 kg (17%) + Reduktion EPS: Masse um 0,07 kg (5%) bzw. Volumen um ca. 0,005 m³
MW + Armierungs- bzw. Klebemörtel	mineral. Mörtel	0,48%	0,03%	EOL: Deponierung/Recycling + Fremdstoffe: wird vernachlässigt (< 1% Masse) im Einzelfall prüfen + Reduktion MW: Masse um 0,2 kg (2%) bzw. Volumenabzug 0,002 m³
WF + Armierungs- bzw. Klebemörtel	mineral. Mörtel	0,27%	0,03%	EOL: thermische Verwertung + Mörtel: wird vernachlässigt (< 1% Masse) im Einzelfall prüfen + Reduktion WW: Masse um ca. 0,6 kg (3,5%) bzw. Volumen um ca. 0,0035 m³
Kleber + EPS	EPS	0,37%	33%	EOL: Bauschuttaufbereitung/Deponierung*
Kleber + MW	MW	2,40%	20%	EOL: Bauschuttaufbereitung/Deponierung*
Kleber + WF	WF	4,95%	28,57%	EOL: Bauschuttaufbereitung/Deponierung*
Kleber + EPS + mineral. Putz (Altputz)	EPS	< 0,2%	ca. 3%	EOL: Bauschuttaufbereitung
Kleber + MW/WF + mineral. Putz (Altputz)	MW/WF	> 0,4%	ca. 5%	EOL: Bauschuttaufbereitung/Deponierung*
Putzschicht alt mineralisch	-	-	-	Bauschuttaufbereitung
Putzschicht alt Leichtputz	Fasern	< 0,25%	k.a	EOL: Bauschuttaufbereitung/Deponierung*

Neben der zuvor dargestellten händischen Trennung der Systemkomponenten eines WDVS, ist es allerdings auch möglich mittels Bagger samt Sortiergreifer die WDVS-Schicht vom massiven Mauerwerk abzulösen. In diesem Zusammenhang wird das WDVS vor dem Abbruch des Gebäudes mit dem Sortiergreifer abgeschält. Dabei ist darauf acht zu geben, dass die Wand nicht eingedrückt wird, die Gefahr besteht besonders bei Ziegelmauerwerken. Ein Bagger kann allerdings lediglich eingesetzt werden, wenn genügend Platz am Grundstück vorhanden ist. Ist dies nicht der Fall muss, wie zuvor dargestellt, das WDVS händisch von der Massivwand gelöst werden [Knappe et al 2012].

Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass im Zusammenhang mit Bagger eine Trennung des WDVS vom Mauerwerk erfolgt, während beim händischen Rückbau die einzelnen Komponenten des WDVS auch separiert werden.

3.7 Ökologie natürlich organischer Dämmstoffe

Natürlich organische Dämmstoffe werden oftmals als ökologische Dämmstoffe bezeichnet. Im

Rahmen dieses Kapitels wird erläutert, wie ökologische ausgewählte Materialien dieser Stoffgruppe, bezogen auf ihre Inhaltsstoffe, tatsächlich sind. Weiters werden die Grenzen der Verfügbarkeit aufgezeigt.

3.7.1 Zusatzstoffe

Natürlich organische Dämmstoffe sind durch einen hohen Anteil (> 80%) an natürlichen Fasern nachwachsender Rohstoffe gekennzeichnet. Dadurch ist ein ökologischer Vorteil gegenüber synthetisch organischen Dämmstoffen gegeben. Zur Gewährung der Formstabilität, des Brand- und Schädlingsschutzes oder aus anderen produkttechnischen Gründen werden bei der Herstellung ökologischer Dämmstoffe Bindemittel und Zuschlagstoffe beigesetzt. Diese Stoffe sind teilweise natürlicher und teilweise synthetischer Herkunft. [Danner 2010]

Die bei ökologischen Dämmstoffen eingesetzten Brandschutzmittel Borsalz, Aluminiumsulfat und Ammoniumphosphat haben keine direkten negativen Auswirkungen auf die Umwelt, dies konnte bei diversen Studien belegt werden. Im Gegensatz dazu enthalten synthetische Dämmstoffe oftmals bromhaltige Brandschutzmittel, welche im Brandfall toxische Gase produzieren [Mühlethaler & Haas 2011].

3.7.2 Herkunft und Verfügbarkeit

Dämmstoffe aus natürlich ökologischen Stoffen werden oftmals als ökologische Alternative zu den derzeit hauptsächlich eingesetzten synthetisch organischen und mineralischen Materialien betrachtet.

Wie bereits dargestellt, weisen die ökologischen Dämmstoffe nur einen geringen Marktanteil auf. Es ist zu erwarten, dass der gesamte Dämmstoffmarkt künftig weiter expandieren wird. Grundlegend hierfür ist, dass es bei den klimatischen Bedingungen in unseren Breiten im Zusammenhang mit der Energieeinsparung überaus zweckführend ist, die Wärmeverluste durch gute Außendämmung zu reduzieren [Eicke-Hennig 1997].

Raumheizung nimmt mit etwa 350 Milliarden MJ knapp ein Drittel des jährlichen Energieverbrauchs Österreichs ein [FCIO 2008]. Somit wäre zu erwarten, dass der Bedarf an Dämmstoffen steigen wird. Ökologische Dämmstoffe könnten allerdings weder den jetzigen Bedarf, noch den eventuell höheren künftigen Bedarf decken [Eicke-Hennig 1997].

Im Gegensatz zu ökologischen Dämmstoffen gibt es bei Mineralfasern keine Einschränkungen bei der Verfügbarkeit der Rohstoffgrundlagen. Der Grundstoff der Steinwolle Basaltgestein ist nahezu unbegrenzt verfügbar. Ebenso kann bei Steinwolle der Recyclinganteil von Gebäudeabbruchmaterialien noch gesteigert werden [Eicke-Hennig 1997].

3.7.2.1 Kork

Das Wuchsgebiet der Korkeiche liegt in Nordafrika und Südwesteuropa. Die bedeutendsten Produktionsländer für Kork stellen Portugal und Spanien dar. Von dem in Europa produzierten Kork (ca. 340.000 t) stammen etwa 51 % von Portugal und ca. 28 % von Spanien [Holzmann & Wangelin 2009].

Beim Kork ist bereits jetzt eine Überdüngung bekannt. Die Überdüngung der Korkeichen führt zum Pilzbefall des Korks und dies wiederum zu Qualitätseinbußen beim Endprodukt. Allerdings wäre ein ausgeweiteter Anbau von Korkeichen durchaus möglich. Weiters könnte das Angebot an Korkprodukten bereits durch vollständige Bewirtschaftung der Korkeichen-Bestände erhöht werden. In Spanien werden zurzeit nur etwa 60 % der Korkeichen vollständig bewirtschaftet [Eicke-Hennig 1997].

Begründet durch die klimatischen Bedingungen wäre ein Anbau der Korkeiche in Mitteleuropa nicht möglich, denn sie ist nicht winterfest [Frey & Lösch 2010]. Folglich ist die Nutzung von Kork hier durchwegs mit hohen Transportwegen verbunden.

3.7.2.2 Hanf

Die Produktion von nachwachsenden Faserstoffen, wie Hanf und Flachs, kann für die Landwirtschaft eine neue Einkommensquelle darstellen. Diese Tatsache lässt eine Produktionsausweitung in der Landwirtschaft erwarten. Wenn Flachs und Hanf allerdings in großflächigen Monokulturen angebaut werden, ist der ökologische Hintergedanke zu hinterfragen. Bei einem ökologisch schonenden Anbau lassen sich etwa 2,6 t Hanffasern pro ha Acker, das sind etwa 100 m^3 Dämmstoff, erwirtschaften [Eicke-Hennig 1997].

Bezogen auf den Faserertrag ist Hanf als günstig zu betrachten, denn ca. 0,4 ha Hanf liefern denselben Faserertrag wie 1,66 ha Holzbestand. Weltweit werden etwa 200.000 ha Nutzhanf angebaut. Das bedeutendste Kultivierungsgebiet Europas für Nutzhanf ist Frankreich mit einer Anbaufläche von etwa 8.000 ha [Holzmann et al 2012].

In Österreich wurden im Jahr 2013 in Summe 566 ha Hanf angepflanzt. Davon wurden rund 89 % (504 ha) in Niederösterreich angebaut. Der restliche Hanf stammt aus Kärnten (8 ha), Oberösterreich (53 ha) und der Steiermark (1 ha) [Statistik Austria 2014].

Die gesamte Ackerbaufläche liegt in Österreich bei knapp 1,4 Mio. ha [Statistik Austria 2014]. Demzufolge werden etwa 0,04 % der gesamten Ackerfläche in Österreich mit Hanf bepflanzt.

Die Hanfpflanze ist allerdings nicht nur für die Dämmstoffindustrie von Interesse. Auch bei anderen Industriezweigen gibt es einen erheblichen Bedarf für diesen nachwachsenden Faserstoff [Eicke-Hennig 1997].

Da Ackerflächen nur begrenzt verfügbar sind, ergibt sich beim Anbau von Faserpflanzen eine

Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion. Das ist für Österreich vor allem von Bedeutung, da es nach den Angaben von Statistik Austria (2012) ein Importeur für Agrarerzeugnisse darstellt. Im Jahr 2010/11 wurde bspw. der Bedarf an Getreide und Kartoffeln zu 88 %, Wein zu 66 %, Obst zu 52 %, Ölsaaten zu 50 % und pflanzliche Öle zu 26 % aus dem Innland gedeckt.

3.7.2.3 Schilfrohr

Schilfrohr zählt zu den am weitest verbreiteten Pflanzen der Welt. Bevorzugt ist es an Uferbereichen von stehenden und langsam fließenden Gewässern sowie bei sumpfigen Wiesen und Mooren vorzufinden. Österreich stellt ein bedeutendes Wuchsgebiet für Schilf dar (siehe Tabelle 2.12). Der zeitgrößte Schilfgürtel Europas mit rund 180 km² findet sich um den Neusiedlersee, etwa 100 km² davon befinden sich in Österreich. Am anderen Ende Österreichs, am Bodensee, findet sich ein weiteres bedeutendes Schilfgebiet. In Österreich wird derzeit nur eine geringe Menge des Schilfvorkommens genutzt, das Potenzial wäre hoch. Bei einem durchschnittlichen Ertrag von 10 t pro Hektar könnten aus dem österreichischen Schilfgürtel des Neusiedlersees 0,53 bis 0,67 Mio. m³ Dämmstoffe gewonnen werden. Dies würde etwa 10 % des gesamten österreichischen Dämmstoffverbrauches entsprechen. Derzeit werden weniger als zehn Prozent der Fläche bewirtschaftet. Grundlegend für die geringe Bewirtschaftung ist, dass neue Technologien fehlen. Derzeit ist die Platte- und Mattenproduktion mit einem hohen Arbeitseinsatz verbunden und nur wenig wirtschaftlich [Wimmer et al 2012].

Ökologisch gesehen wäre nach der Auffassung von Wimmer et al (2012) eine Nutzung des Schilfgebietes unproblematisch und würde sich, durch das Entgegenwirken der Verschilfung und Verlandung, positiv auf Fauna und Flora auswirken.

Tabelle 3.13: Hauptanbaugebiete von Schilfrohr
In Anlehnung an [Holzmann & Wangelin 2009]

• Afrika	• Estland	• Polen Rumänien
• China	• Lettland	• Türkei
• Dänemark	• Litauen	• Ungarn
• Deutschland	• Niederlande	• Weißrussland
• England	• Österreich	

3.7.2.4 Holz

Schleif-, Faser-, Sekunda-, Dünn-, Manipulations- und Plattenholz wird unter der Begriff Indust-

rieholz zusammengefasst. Im Jahr 2013 fielen 3,11 Mio. Efm (Erntefestmeter) an Industrieholz, welches bei der Faser- und Spannplattenindustrie verwendet wird, an, das entsprich 17,9 % des Holzeinschlages dieses Jahres [BMLFUW 2014b].

Üblicherweise werden Holzfaserdämmplatten aus Nadelholz hergestellt. Die Faserqualität ist günstig einzustufen, da die Holzfaserdämmplatten eine hohe Festigkeit im Verhältnis zur Rohdichte aufweisen [Krackler et al 2010].

Bei der Baumartenverteilung des österreichischen Waldes hat die Fichte mit knapp 60 % den höchsten Anteil, Nadelhölzer insgesamt 71,6 % [proHolz Austria 2014].

Faserplatten können auch aus Laubholz hergestellt werden. Der Herstellungsprozess von Faserplatten ist ähnlich der Produktion von Holzfaserdämmplatten. Entsprechend ist anzunehmen, dass auch Holzfaserdämmplatten aus Laubholz hergestellt werden könnten. Von hoher Bedeutung ist die passende Qualität der Fasern (Mix aus unterschiedlich geformten Fasern). Eine Studie von Bartholme et al (2009) hat gezeigt, dass Holzfaserdämmplatten aus Buchenholz im Nassverfahren hergestellt werden können. Durch Zugabe von Kartoffelpülpe, kann gegen die nachteilige Fasergeometrie des Buchenholzes entgegengewirkt werden. Kartoffelpülpe stellt ein Abfallprodukt bei der Kartoffelstärkeherstellung dar und hat mit einem Stärkegehalt von 30 % gute Bindeeigenschaften. Die Wärmeleitfähigkeit lag bei Buchen- Holzfaserdämmplatten mit einer Beimengung von 10% Kartoffelpülpe im Bereich von 0,066 bis 0,067 W/(m.K) [Krackler et al 2010].

3.7.2.5 Stroh

Eine erhöhte Nutzung von Ackerflächen zum Getreideanbau könnte in Österreich durchaus sinnvoll sein. Einerseits könnte dadurch der Getreideimport reduziert werden. Derzeit liegt die Eigenversorgung mit Getreide bei etwa 88 % (.vgl. Punkt 3.7.2.2). Andererseits würde dadurch der Bauindustrie mehr Stroh zu Verfügung stehen.

Wie bereits unter Punkt 3.2.3.6 erwähnt, wird im Baubereich hauptsächlich Weizen- und Roggenstroh verwendet. Hauptanbaugebiet für Weizen stellt Niederösterreich mit 188.580 ha gefolgt von Oberösterreich mit 50.172 ha und dem Burgenland mit 47.195 ha dar. Die restlichen 11.339 teilen sich auf die anderen Bundesländer auf. 39.545 ha Roggen werden in Niederösterreich 7.004 ha in Oberösterreich, 6.563 ha im Burgenland und 8.176 ha in den restlichen Bundesländern angebaut. Die genannten Werte stammen von der Ernteerhebung der Statistik Austria (2014) für das Jahr 2013.

Die Stroherträge unterschiedlicher Getreidesorten sind in Tabelle 3.14 ersichtlich. Die Erträge sind dabei in Dezitonnen (1 dt = 100 kg) pro Hektar angegeben. Es zeigt sich, dass der Ertrag bei Wintergetreide von Weizen (45 -75 dt/ha) und Roggen (50-80 dt/ha) im Vergleich zu anderen Getreidesorten günstig zu werten ist.

Tabelle 3.14: Stroherträge unterschiedlicher Getreidearten
[Holzmann et al 2012]

Getreideart	Kornertrag in dt/ha	Strohertrag in dt/ha
Winterweizen	30–55	45–75
Sommerweizen	30–45	35–60
Wintergerste	35–55	40–70
Sommergerste	30–50	35–50
Winterroggen	25–50	50–80
Sommerroggen	20–40	35–50
Hafer	30–50	40–55
Quelle: Löhr 1990		

3.7.3 Ökologische Betrachtung von Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen

3.7.3.1 Hanffaserdämmplatten

Im Jahr 2013 gewann das Unternehmen NAPORO Klima Dämmstoff GmbH mit ihren Hanfdämmplatten, welche von der Capatect Baustoffindustrie GmbH vertrieben werden, den österreichischen Klimaschutzpreis.

NAPORO (2014) bewirbt ihre Hanfdämmplatte folgendermaßen: „Hanf ist ein nachwachsender, heimischer Rohstoff, der weder Dünger noch Spritzmittel benötigt und nur kurze Transportwege erfordert. Er bindet bereits beim Wachstum erheblich mehr CO_2 als bei der Herstellung des Dämmstoffes emittiert wird. Die Hanffaser-Dämmplatte gilt als ökologische Alternative und ist bezüglich Dämmwert dem bewährten Polystyrol absolut ebenbürtig, setzt aber im Schallschutz neue Maßstäbe. Die Hanffaser-Dämmplatte kann am Ende ihres Lebenszyklus' zu neuen Dämmplatten recycelt oder als Rohstoff zur Biogasgewinnung verwertet werden.“ [Naporo 2014c]

Die ausgezeichnete Hanffaserdämmplatte besteht laut dem Produktdatenblatt [Capatect 2014] aus ca. 87 % Hanf-Stroh und ca. 12% Bikopolyesterfasern.

Bikofasern, in diesem Fall aus Polyester, sind Klebefasern, welche die Hanffasern in Plattenform halten. Kunststoffe in Baustoffen sind allerdings, bezogen auf die Dauerhaftigkeit, als problematisch anzusehen. Die Polyesterfasern können im Zeitverlauf spröde werden und die Dämmplatten in Folge ihre Steifigkeit verlieren. [Bauhanf o.J.]

Ein weiterer interessanter Aspekt an dem Anteil an Kunststoffasern ist, wenn man sich vor Augen führt, dass die Hanffaserdämmplatte laut Herstellerangaben recycelt werden kann und als Grundstoff zur Biogaserzeugung dient.

Nach der Schradenbiogas GmbH (o.J.) lassen sich die meisten synthetisch, organische Polymere nur äußerst langsam bis gar nicht von Bakterien abbauen.

Fritz (2005) führte eine Studie über den Einsatz von biologisch abbaubaren Werkstoffen für die Vergärung durch. Es kam zu dem Ergebnis, dass Polyester keine nennenswerte Biogasproduktion zu Folge hat. Der anaerobe Abbau bei der Vergärung ist signifikant geringer als ein aerober Abbau von Polyester. Beim anaeroben Abbau von Polyester ist allerdings keine Beeinträchtigung bei der Betriebsführung der Biogasanlage zu erwarten.

Allerdings dürfen durch diese Ergebnisse keineswegs voreilige Schlüsse gezogen werden, da es nicht nur einen chemischen Stoff gibt, welcher unter die Begrifflichkeit Polyester fällt.

Als Polyester werden Polymere mit Esterbindungen –[-CO-O-]- in der Hauptkette aufgefasst. Es kann zwischen in der Natur vorkommenden und synthetischen Polyester unterschieden werden, wobei heutzutage vorwiegend eine große Gruppe von synthetisch erzeugten Polymeren unter der Begrifflichkeit Polyester verstanden wird. Bekannte Vertreter der „Polyester-Familie“ stellen bspw. Polyethylenterephthalat (PET) und Polycarbonat dar [Chemie.de o.J].

Da die exakte chemische Zusammensetzung der bei der Produktion der Hanffaserplatten eingesetzten Polyesterfasern nicht bekannt ist, können keine Schlüsse auf ihre biologische Abbaubarkeit gezogen werden. Neben dem Polyestergehalt lässt allerdings der Hauptbestandteil, die Hanffaser, die einfache Abbaubarkeit dieses Dämmstoffes anzweifeln.

Bei der Biogas-Produktion sind Substrate mit einem hohen Anteil an Lignin, Cellulose und Hemi-Cellulose als unvorteilhaft einzustufen. Bei Materialien mit einem hohen Cellulose-Anteil, wie etwa Hanffasern (vgl. Tabelle 3.15) als Hauptbestandteil von Hanfdämmstoffen, ist es notwendig, dass die Cellulose vorher aufgeschlossen wird. Eine Aufschlussmöglichkeit wäre etwa eine aerobe Vorrotte oder Desintegration [FNR o.J.]

Tabelle 3.15: Zusammensetzung von Hanf
Modifiziert übernommen von [Steffes o.J.]

Faserart	Zellulose	Hemi-zellulose	Pektin	Lignin	Wasserlösliche Substanzen	Fett und Wachs
Hanf	60,0 – 72,0	11,0 - 19,0	4,4 - 7,6	2,3 – 7,9	2,1 – 11,6	0,7 - 1,3

Einen weiteren Hanfdämmstoff, welcher für die Fassadendämmung (vorgehängte Fassade) genutzt werden kann, bietet das deutsche Unternehmen Hock GmbH & Co. KG. Angeboten werden für die Fassadendämmung zwei unterschiedliche Hanfdämmstoffe. Der erste Dämmstoff „Thermohanf Premium“ enthält, wie jener von Capatect, Polyester-Bikofasern und der zweite „Thermohanf Plus“ Bikofasern auf pflanzlicher Basis. Beim Vergleich der Produktblätter der beiden Fassadendämmstoffe wird lediglich beim Thermohanf Plus die Recycling- und Kompostierfähigkeit beworben. Allerdings ist auch hier wiederum der exakte chemische Aufbau des Polymers unbekannt.

Nach Mötzl et al (2008) funktioniert der Einsatz von Stärkefasern in technischer Hinsicht. Die Problematik dabei sind allerdings die hohen Kosten.

3.7.3.2 Holzweichfaserdämmplatten

Die Holzweichfaserdämmplatte „Pavatex Diffutherm“ besteht aus Nadelholz, Weißleim und Zuschlagstoffen. Das Lignin des Holzes verflüssigt sich beim Erhitzen und bindet die Holzfasern beim Abkühlprozess, dadurch kann auf den Einsatz künstlicher Bindemittel verzichtet werden. Da die Holzfaserdämmplatten aus mehreren Schichten aufgebaut sind dient der Leim dem Verkleben der einzelnen Schichten [Baumit o.J., Baumit 2012].

Neben Baumit bietet bspw. auch das Unternehmen Sto Holzweichfaserdämmplatten für den Einsatz bei WDVS in Österreich an. Bei der Recherche auf der Webseite und den Produktblättern könnten keine Angaben zur der Zusammensetzung der Sto-Weichfaserdämmplatten gefunden werden. Allerdings konnte festgestellt werden, dass die WF im Trockenverfahren [Sto 2014] produziert wird. Das bedeutet, dass ein Bindemittel beim Produktionsprozess Einsatz findet. Nach Neuhaus (2009) werden beim Trockenverfahren meist Kunstharze eingesetzt.

Um welche Bindemittel es sich in diesem konkreten Fall handelt ist nicht bekannt. Wie bereits zuvor dargestellt, stellt Polyurethan ein Bindemittel dar, welches beim Trockenverfahren oft verwendet wird. Ein weiteres Bindemittel für die Produktion von WF stellt Polymeres Diphenylmethandiisocyanat dar. Dieses Bindemittel wird beispielsweise vom Schweizer Unternehmen Pavatex [Pavatex SA, 2014] im Produktionsprozess integriert.

Das WDVS StoTherm Wood ist naturplus-zertifiziert [natureplus e.V., o.J.], auf Grund dessen kann zumindest festgestellt werden, dass die Holzfaserdämmplatten zumindest aus 85 % (bezogen auf die Trockenmasse) nachwachsenden Rohstoffen bestehen [natureplus e.V., 2010]. Der hohe Anteil an natürlichen Rohstoffen erscheint allerdings keineswegs verwunderlich, da die Holzfasern im Trockenverfahren lediglich mit dem Bindemittel besprüht werden [Gebhardt 2012].

3.7.3.3 Korkdämmplatten

In Österreich wird unter der Corktherm 040 eine Kork-Dämmplatte von dem Unternehmen Röfix vertrieben. Die Produktion erfolgt laut Herstellerangaben gänzlich ohne Zusatz von Fremd-Bindemitteln. Es wird dabei ausschließlich das Surbarinharz der Korkrinde genutzt. [Röfix 2012].

Allerdings gibt es auch Verfahren bei welchen das Korkgranulat durch Beimengung von Zusätzen (Kunstharze) gebunden wird [Holzmann & Wangelin 2009]. Der sogenannte Preßkork, welcher durch Zusatz von Bindemittel gebunden wird, hat allerdings als Dämmstoff im Hochbaubereich eine sehr geringe Bedeutung [Mötzl 1999].

Korkdämmplatten enthalten i.d.R. weder Fungizide, Herbizide noch Flammschutzmittel. Sie wei-

sen unter Normalbedingungen eine Beständigkeit gegen Ungeziefer, Fäulnis und Schimmelbildung auf und sind alterungsbeständig. Weiters sind sie durch eine Dauerbelastbarkeit im Temperaturbereich – 100°C und +120 °C gekennzeichnet [Holzmann & Wangelin 2009].

3.8 Conclusio

Die Studie zeigt, dass expandiertes Polystyrol derzeit den wichtigsten Dämmstoff bei Wärmedämmverbundsysemen darstellt und die implementierte Dämmstoffstärke kontinuierlich zunimmt. Die Folge ist, dass es bei Systemen, welche diesem Trend folgen, vermehrt zu Tauwasserbildung kommt. Grundlegend hierfür ist, dass es zu einer Unterkühlung der Außenoberflächenschicht unter die Tautemperatur der Außenluft kommt. Von Bedeutung ist hierbei einerseits die geringe Wärmeleitfähigkeit der Außenwände und in Folge unzureichende Wärmenachlieferung von innen nach außen. Neben der Wärmeleitfähigkeit kommt allerdings auch der Wärmespeicherfähigkeit besondere Bedeutung zu. In diversen Studien konnte nachgewiesen werden, dass es bei Wänden mit höherer Wärmespeicherfähigkeit zu einer geringeren Tauwasserbildung kommt. Werden etwa Holzfaserdämmplatten anstatt expandiertem Polystyrol im Wärmedämmverbundsystem verarbeitet, ist mit einer geringeren Tauwasserbildung zu rechnen. Grundlegend hierfür ist, dass Holzfaserdämmplatten eine deutlich höhere Wärmespeicherfähigkeit aufweisen als expandiertes Polystyrol. Im Hinblick auf die Unterschreitung der Taupunkttemperatur der Außenluft erweist sich allerdings eine monolithische Ziegelwand mit noch höhere Wärmespeicherfähigkeit als günstiger.

Ein weiterer Aspekt von Interesse im Rahmen dieser Studie war die Entsorgung und das Recycling von Wärmedämmverbundsystemen. Derzeit hat der Rückbau und der anfallende Abfall von WDVS eine äußerst geringe Bedeutung. Grundlegend hierfür ist, dass WDVS im Zuge der Sanierung meist nicht rückgebaut sondern aufgedoppelt werden. Mit einem erheblichen Anstieg der WDVS-Abfälle ist künftig zu rechnen, wenn die Gebäude aus den Anfangszeiten der Verwendung von WDVS das Ende ihres Lebenszyklus erreichen und abgebrochen werden.

Grundsätzlich ist bei Dämmstoffen sowohl Produkt- als auch Materialrecycling möglich. Die Problematik ergibt sich bei WDVS durch den Verbund der Materialien. Studien zeigen, dass Anhaftungen von Fremdstoffen an den Dämmstoffen nach dem Rückbau verbleiben. Anzumerken ist allerdings, dass der Weiterverwertungsweg im hohen Maße vom Grad der Sortenreinheit abhängt und nicht immer eine hundertprozentige Sortenreinheit gefordert ist. Allerdings sind bereits Verfahren in Entwicklung, welche künftig ein Recycling von WDVS-Abfällen ermöglich könnten. Das Fraunhofer Institut hat bspw. ein Verfahren entwickelt, welches es ermöglicht aus verschmutzten EPS-Abfällen wiederaufschäumbares Polystyrol zu erzeugen. Der große Vorteil dieses Verfahrens liegt auch darin, dass das beinhaltet Flammschutzmittel HBCD abgetrennt werden kann und

dadurch ein Recycling auch zulässig wäre. Denn durch die Aufnahme des HBCD in die Stockholmer Konvention ist es nicht zulässig HBCD-haltiges EPS einfach zu recyceln und als Recyclat zu vermarkten.

Als weiterer Punkt wurde die Ökologie von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen betrachtet. Es zeigt sich dabei, dass diese Kategorie von Dämmstoffen oftmals synthetische Bestandteile beinhalten. So werden bei der Herstellung von Holzfaserdämmplatten im Trockenverfahren Kunstharze als Bindemittel eingesetzt. Bei Hanffaserdämmplatten, welche für WDVS eingesetzt werden, werden Bikopolyesterfasern eingesetzt. Bei Bikofasern, in diesem Fall aus Polyester, handelt es sich um Klebefasern, welche die Hanffasern in Plattenform halten. Die Problematik beim Einsatz vieler Kunststoffe liegt darin, dass sich die meisten synthetisch, organische Polymere nur äußerst langsam bis gar nicht von Bakterien abbauen lassen. Ein weiterer Aspekt im Zusammenhang mit natürlich organischen Dämmstoffen, der immer zu bedenken ist, ist die Herkunft und Verfügbarkeit. Bezogen auf den Vergleich der OI3-Indikatoren liefert Kork durchwegs ein sehr gutes Ergebnis. Allerdings muss im Zusammenhang mit Kork bedacht werden, dass die Korkeichenbestände nur in wärmeren Klimaregionen vorzufinden sind. Begründet durch die klimatischen Bedingungen wäre ein Anbau der Korkeiche in Mitteleuropa nicht möglich (Winterfestigkeit). Beim Kork ist bereits jetzt eine Überdüngung bekannt. Die Überdüngung der Korkeichen führt zum Pilzbefall des Korks und dies wiederum zu Qualitätseinbußen beim Endprodukt. Allerding gibt es Bestände, die derzeit nicht vollständig bewirtschaftet werden. Jedenfalls sind dem Anteil von Korkprodukten am Dämmmarkt Grenzen gesetzt. Ein wenig beachteter alternativer Dämmstoff stellt Schilf dar. Würde man dem Schilfgürtel des Neusiedlersees in Österreich vollständig bewirtschaften, könnte der Dämmstoffverbrauch von Österreich mit etwa 10 % gedeckt werden. Der Anteil an natürlich organischen Dämmstoffen ließe sich jedenfalls erhöhen, allerdings könnte der Gesamtbedarf von diesen nicht gedeckt werden.

Die Studie zeigt im Grunde die Grenzen des OI3-Index. EPS-F ist bezogen auf den ΔOI3 als zweitökologischster Dämmstoff im Vergleich einzustufen. Die Systemgrenzen sind hierbei cradle to gate. Folglich wurde bei der OI3-Bewertung Rückbaubarkeit und Recycling nicht beachtet. Insbesondere bei WDVS gehen diese Aspekte mit Problemen einher. Der Rückbau und die sortenreine Materialtrennung gestalten sich bei WDVS mit dem Dämmstoff EPS schwieriger als bei anderen Dämmstoffen. Weiters wird nicht berücksichtigt, dass es sich bei Erdöl und als Konsequenz bei EPS um eine begrenzte Ressource handelt.

4 Mustergebäude – Break Even Point in der Sanierung

Zu Betrachtung des „Break Even Points in der Sanierung“ wurde die dynamische Amortisationsrechnung herangezogen. Im Rahmen dieses Kapitels wurden vier Mustergebäude entwickelt und bau- sowie gebäudetechnische Sanierungsvarianten wirtschaftlich bewertet. Dabei handelt es sich um zwei Modelle des Gebäudetyps Einfamilienhaus, ein Modell eines Mehrfamilienhauses und ein Modell eines Bürogebäudes.

Für den Gebäudetypus Einfamilienhaus wurden zwei unterschiedliche Mustergebäude entworfen. Die erste Variante soll einen modernen Baustil mit Flachdach, welcher in der heutigen Zeit vermehrt anzutreffen ist, entsprechen. Die zweite Variante entspricht vielmehr einem traditionellen Einfamilienhaus mit Steildach, wie es vielfach in Salzburger Gebäudebestand vorkommt. Inspiriert wurde der Entwurf von den Gebäuden, welche man im Bestand findet. Es wurde versucht den typischen Bautyp herauszufinden und nachzubilden. Neben der Betrachtung des Gebäudebestands wurden auch Kenngrößen zu Mustergebäuden von anderen Studien, statistische Werte zum Gebäudebestand der Statistik Austria und Auswertungen der Daten von ZEUS aus 5 Big Energy Data bei der Entwurfsphase der Mustergebäude und insbesondere der Einfamilienhäuser betrachtet.

Da bei Betrachtung des Bestands an Mehrfamilienhäusern kein typischer Bautyp festgestellt werden konnte (es gibt erhebliche Unterschiede hinsichtlich Errichtungszeitraum und Größen) wurde das Mehrfamilienhaus frei entworfen, unter Berücksichtigung des Baustils der heutigen Zeit.

Beim Entwurfs des Bürogebäudes wurde auf eine einfache Kubatur geachtet, da dies einer günstigen Bauweise entspricht und auch, sofern es sich nicht um ein Prestige-Gebäude handeln soll, im Sinne der Wirtschaftlichkeit von Unternehmen bevorzugt wird.

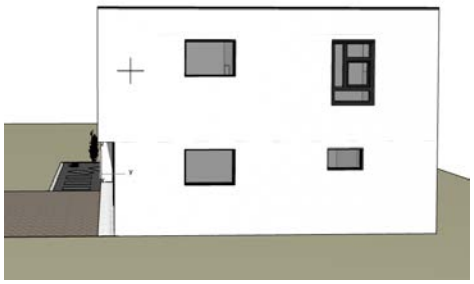
4.1 Übersicht Mustergebäude

4.1.1 Einfamilienhaus modern

In Abbildung 4.1 ist das Modell für das Einfamilienhaus modern dargestellt.

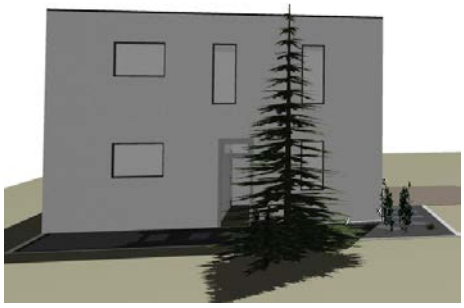
Südansicht:

Ostansicht:

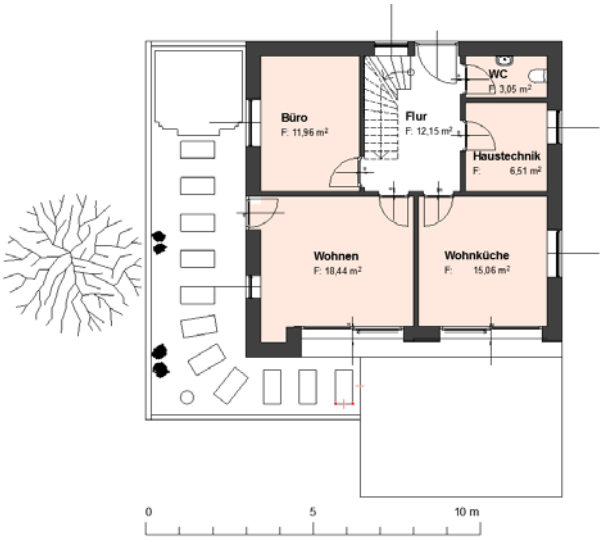


Nordansicht:

Westansicht:



Grundriss EG:



Grundriss OG:

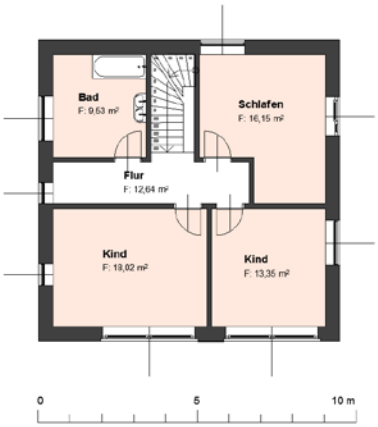


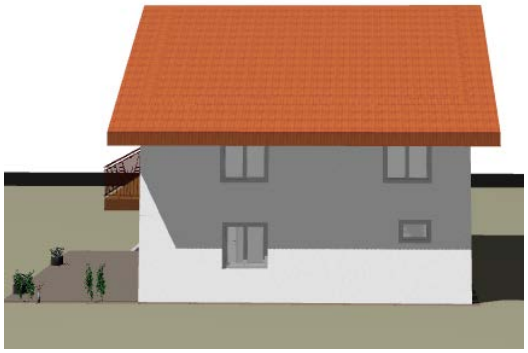
Abbildung 4.1: Einfamilienhaus modern

4.1.2 Einfamilienhaus klassisch

In Abbildung 4.2 ist das Modell für das Einfamilienhaus klassisch dargestellt.

Südansicht:

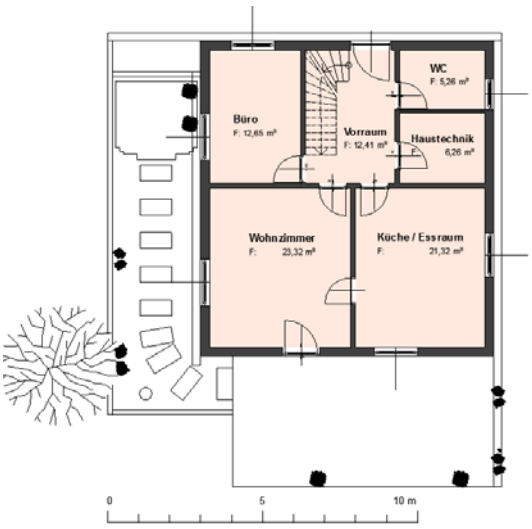
Ostansicht:



Nordansicht:

Westansicht:

Grundriss EG:



Grundriss OG:

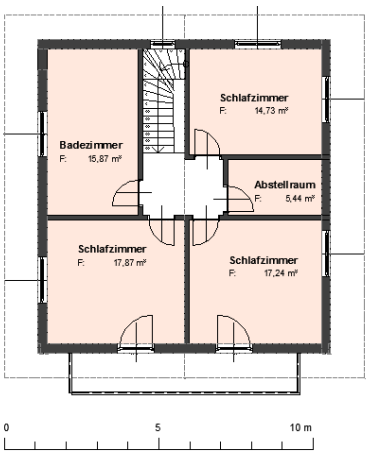


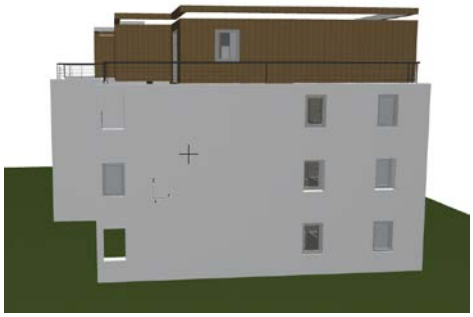
Abbildung 4.2: Einfamilienhaus klassisch

4.1.3 Mehrfamilienhaus

In Abbildung 4.3 ist das Modell für das Mehrfamilienhaus dargestellt.

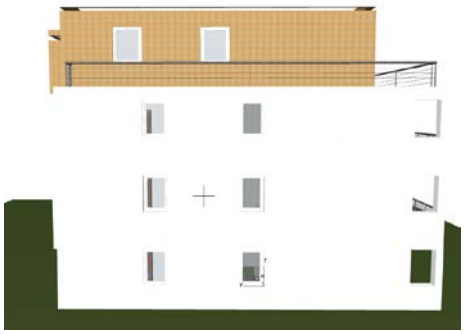
Südwestansicht:

Ostansicht:



Nordostansicht:

Westansicht



Grundriss EG:

Schnitt:

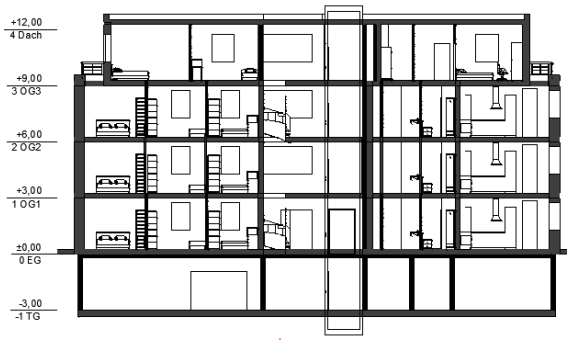
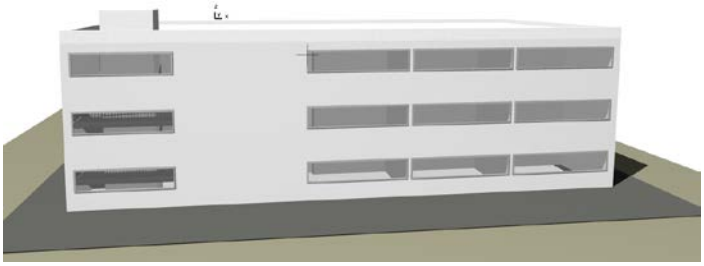


Abbildung 4.3: Mehrfamilienhaus

4.1.4 Bürogebäude

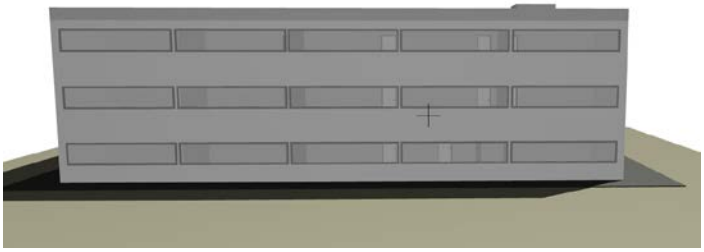
In Abbildung 4.4 ist das Modell für das Bürogebäude dargestellt.

Südwestansicht:

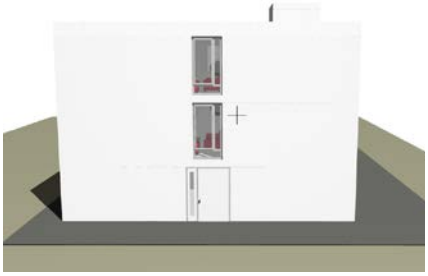


Ostansicht:

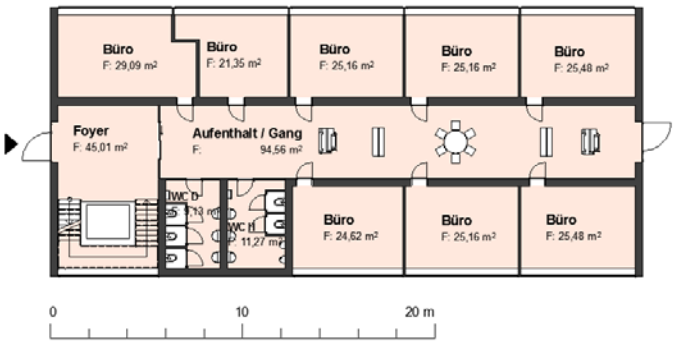
Nordostansicht:



Westansicht



Grundriss EG:



Schnitt:

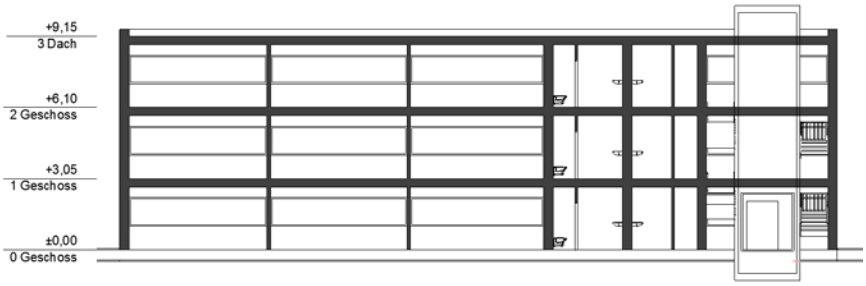


Abbildung 4.4: Bürogebäude

4.2 Ausgangsgrößen

Zu Betrachtung des „Break Even Points in der Sanierung“ wurde die dynamische Amortisationsrechnung herangezogen. Dabei war es notwendig Werte für die Energiekosten, Kosten für die Sanierungsmaßnahmen, Energiepreissteigerungen und einen kalkulatorischen Zinssatz anzunehmen. Die Investitionskosten für neue Haustechnikanlagen, die Instandhaltungsraten sowie deren Nutzungsdauer wurden von der Energieberatung Salzburg entnommen, welche auch im Rahmen des Berechnungsprogramms geq-ebs genutzt werden. Für die Energiepreissteigerung wurde pauschal unabhängig vom Energieträger 2,50 % p.a. angenommen. Der kalkulatorische Zinssatz, welcher im Rahmen der Berechnung herangezogen wurde, orientiert sich am aktuellen Zinsniveau. Hierbei wurden die Angebote für Kredite bei mehreren Banken betrachtet und ein Mittelwert gebildet. Als kalkulatorischer Zinssatz wurde 2,55 % p.a. angesetzt. Dies wurde als sinnvoll erachtet, da er sowohl für Fremdkapitelzinsen als auch bei sehr guten Konditionen für die Anlage von Eigenkapital als realistisch erscheint.

Bei den Kosten einer Heizung ist zwischen betriebswirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Kosten zu unterscheiden. Bei den volkswirtschaftlichen Kosten handelt es sich um externe Effekte, die von der Allgemeinheit getragen werden müssen. Es gibt eine Vielzahl an Studien, die Umweltkosten durch die Nutzung von Energie erfassen und ermitteln suchen. Die Streubreite ist dabei sehr hoch. Grundlegend hierfür ist eine unterschiedliche methodische Herangehensweise. Das deutsche Umweltbundesamt hat begründet dadurch im Jahr 2007 eine Methodenkonvention zur Schätzung der Umweltkosten erarbeitet. Aus dem Jahr 2013 gibt es weiters eine Studie vom Umweltbundesamt, welche sich mit der Schätzung der Umweltkosten in den Bereichen Energie und Verkehr beschäftigt. Auf die Ergebnisse dieser Studie wird im Rahmen dieser Arbeit zurückgegriffen. Berücksichtigt wurde bei dem gewählten Ansatz nach Breitschopf & Memmler (2012) aus dem Hintergrundpapier zur Methodik für die genannte Studie. In diesem Zusammenhang war es möglich zu berücksichtigen, welche Schäden durch den Einsatz erneuerbarer und fossiler Energieträger je kWh Endenergie verursacht werden. Berücksichtigt wurden dabei Luftschadstoffe und Treibhausgase.

Eine Übersicht über die angenommenen Energiepreise und Umweltkosten bietet Abbildung 4.5. Es sei angemerkt, dass die Umweltkosten für den Energieträger Strom in Österreich, bezogen auf die Daten von der Stromkennzeichnung 2015 (Energie-control Austria 2015) mit Hilfe der Methodenkonvention von Breitschopf & Memmler (2012), berechnet wurde. Die Umweltkosten für den österreichischen Strommix sind durch den hohen Anteil an erneuerbaren Energieträgern, insbesondere Wasserkraft als niedrig anzusehen.

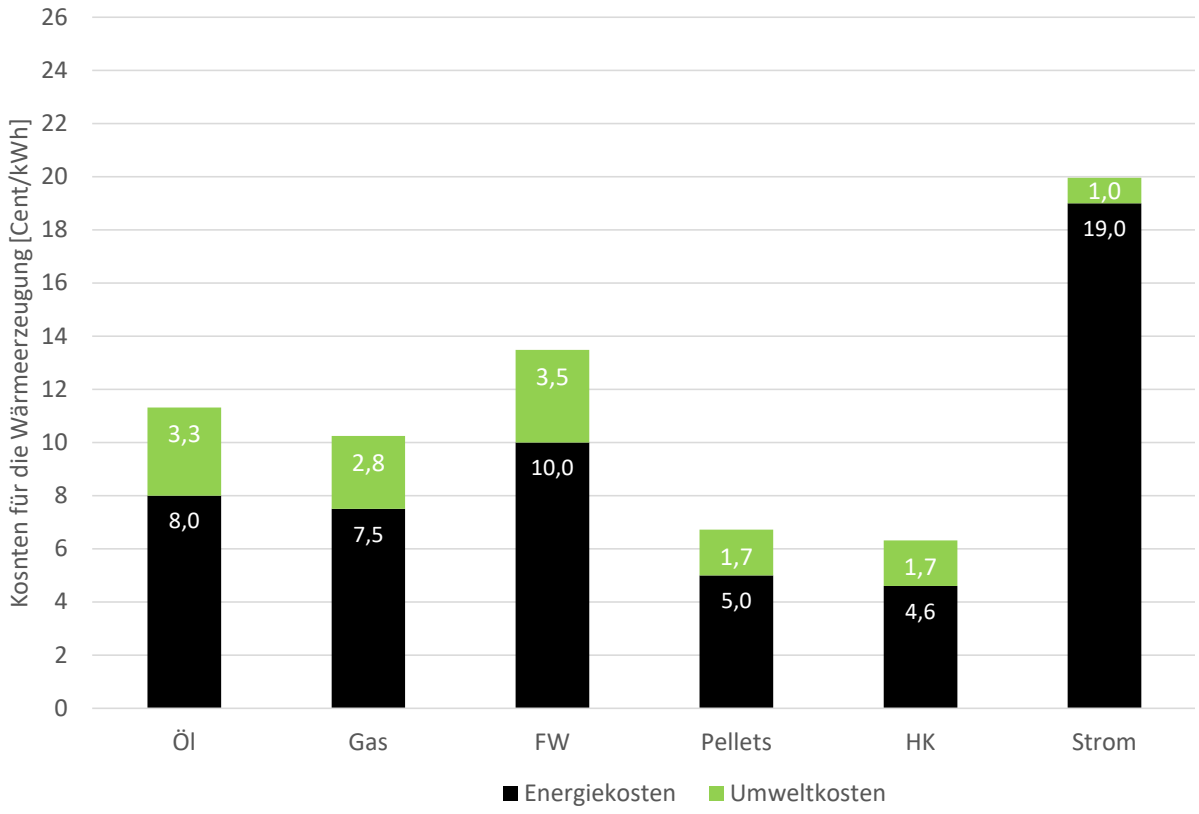


Abbildung 4.5: Energie- und Umweltkosten
[Eigene Darstellung]

4.3 Szenarien

Für die unterschiedlichen Mustergebäude wurden jeweils Varianten für mögliche Sanierungen entwickelt und die Amortisation von diesen betrachtet. In Summe wurden 960 Varianten je Mustergebäude analysiert.

Abbildung 4.6 verschafft einen Überblick über die Bautechnikvarianten. Es wurden die Sanierungsfälle Fenstertausch, Dämmung des Dachs (Flachdachdämmung/oberste Geschossdecke) und Anbringung eines Wärmedämmverbundsystems (WDVS) und eine Kombination aus diesen Sanierungsmaßnahmen betrachtet. Je nach bautechnischer Sanierungsvariante wurden unterschiedliche Dämmstoffdicken berücksichtigt. Die Dämmung der Kellerdecke wurde im Rahmen dieser Analyse nicht betrachtet, da einerseits die Verluste hier im Vergleich zu den anderen Bauteilen (Wand, Fenster und Dach) i.d.R. verhältnismäßig gering sind (siehe Anhang Broschüre Sanieren heute) und nicht jedes Gebäude über einen Keller verfügt.

Variante	Fenstertausch	Flachdachdämmung	WDVS
0 (nur Haustechnik)	✗	✗	✗
Fenster	✓	✗	✗
FD16	✗	16 cm	✗
FD18	✗	18 cm	✗
FD22	✗	22 cm	✗
FD28	✗	28 cm	✗
F + FD16	✓	16 cm	✗
F + FD18	✓	18 cm	✗
F + FD22	✓	22 cm	✗
F + WDVS16	✓	✗	16 cm
F + WDVS18	✓	✗	18 cm
F + WDVS20	✓	✗	20 cm
F + WDVS22	✓	✗	22 cm
F + WDVS24	✓	✗	24 cm
F + WDVS26	✓	✗	26 cm
F + WDVS28	✓	✗	28 cm
F + WDVS30	✓	✗	30 cm
F + WDVS20 + FD16	✓	20 cm	16 cm
F + WDVS20 + FD18	✓	20 cm	18 cm
F + WDVS20 + FD20	✓	20 cm	20 cm
F + WDVS20 + FD22	✓	20 cm	22 cm
F + WDVS22 + FD16	✓	22 cm	16 cm
F + WDVS22 + FD18	✓	22 cm	18 cm
F + WDVS22 + FD22	✓	22 cm	22 cm

Abbildung 4.6: Übersicht zu den Bautechnikvarianten
[Eigene Darstellung]

In Kombination mit den bautechnischen Sanierungsvarianten wurde auch ein Heizungstausch in Erwägung gezogen. Ausgehend von einer alten Öl-Heizung wurde analysiert, wie sich neue Heizungsanlagen in Kombination mit den zuvor erläuterten Sanierungsmaßnahmen amortisieren. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden dabei Sanierungslevel eingeführt (1-5, 6-10, 11-15, 16-20, 21-25 und 26-30 Jahre).

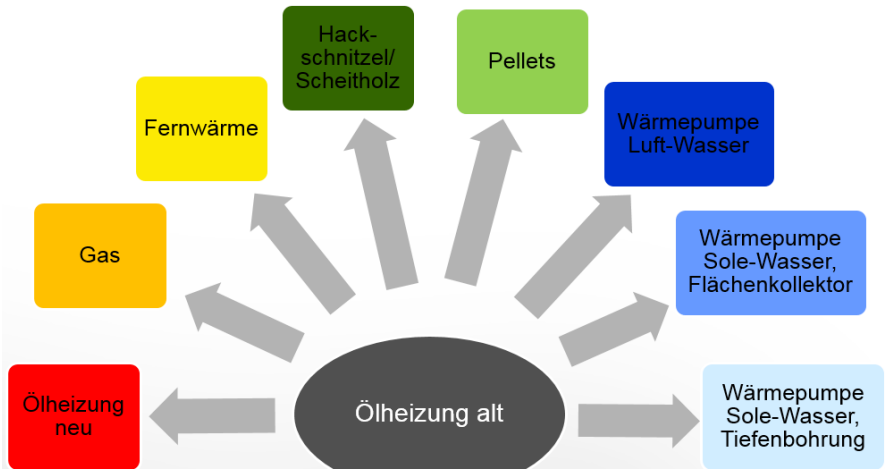


Abbildung 4.7: Übersicht zu den Haustechnikvarianten[1],
[Eigene Darstellung]

Da in der heutigen Zeit oftmals die Energie der Sonne für die Erzeugung von thermischer oder elektrischer Energie bei Gebäuden genutzt wird, wurde auch analysiert, welchen Einfluss die Implementierung einer solarthermischen Anlage oder Photovoltaik-Anlage auf die Amortisation der gesamten Sanierung hat. Betrachtet wurde hierbei eine Anlagengröße von 5 kWp aus fördertechnischen Gründen und eine Anlagengröße, die die gesamte Dachfläche ausnützt. Bei der Solarthermie wurde eine Anlagengröße analysiert, welche nach den gebräuchlichen Richtwerten aus der Praxis für das jeweilige Wohngebäude anzusetzen wäre. Beim Bürogebäude erfolgte keine Berücksichtigung von Solarthermie, da dort eine dezentrale Warmwasserbereitung mit Untertischboilern angenommen wurde. Es wurde auch berücksichtigt, welchen Einfluss die Integration einer zentralen Lüftungsanlage im Zuge der Sanierung hat. Die einzelnen Zusatzausstattungen wurden unabhängig und nicht in Kombination zueinander betrachtet. Folglich wurden die Kombinationen von bautechnischen und haustechnischen Varianten jeweils in Verbindung mit Solarthermie oder Photovoltaik 5 kWp oder Photovoltaik, welche die gesamte Dachfläche nutzt oder einer zentralen Wohnraumlüftung oder keinem der genannten Zusatzsysteme analysiert.

4.4 Amortisation bei Betrachtung der Energiekosten

In Folge werden ausgewählte Ergebnisse von der Analyse der Amortisation unterschiedlicher Sanierungsmaßnahmen dargestellt. Die visualisierten Ergebnisse stammen jeweils vom Mustergebäude Mehrfamilienhaus, die restlichen, hier nicht präsentierten Ergebnisse, befinden sich im Anhang.

[1] Bei Einfamilienhaus wurde Scheitholzheizung und keine Hackschnitzelheizung berücksichtigt, während beim Mehrfamilienhaus und beim Bürobau Hackschnitzel- anstatt Scheitholzheizung betrachtet wurde.

In Abbildung 4.6 ist die Amortisation der unterschiedlichen Bautechnikvarianten ersichtlich. Die Variante „0“ stellt dabei einen Heizungstausch ohne bautechnische Sanierungsmaßnahmen dar. Sämtliche andere Varianten sind bautechnische Sanierungsmaßnahmen (Fenstertausch, Dämmung der Außenwand, des Dachs oder Kombinationen daraus. Die bautechnischen Sanierungsmaßnahmen stehen jeweils in Kombination mit einer Erneuerung der Heizung. Es wurden acht unterschiedliche Heizungssysteme betrachtet, daher entspricht die maximale Anzahl (y-Achse) je Sanierungsmaßnahme acht an der Zahl.

Es zeigt sich, dass sich die Erneuerung der Fenster in Kombination mit einem WDVS i.d.R. in 11-15 Jahre amortisiert und die Amortisation der Maßnahmen Fenster, WDVS und Flachdachdämmung im Bereich von 11 -20 Jahre liegt. Bei kleineren Sanierungsmaßnahmen, wie Fenstertausch ist die Amortisation in hohem Maße von der implementierten Heizungsanalage abhängig.

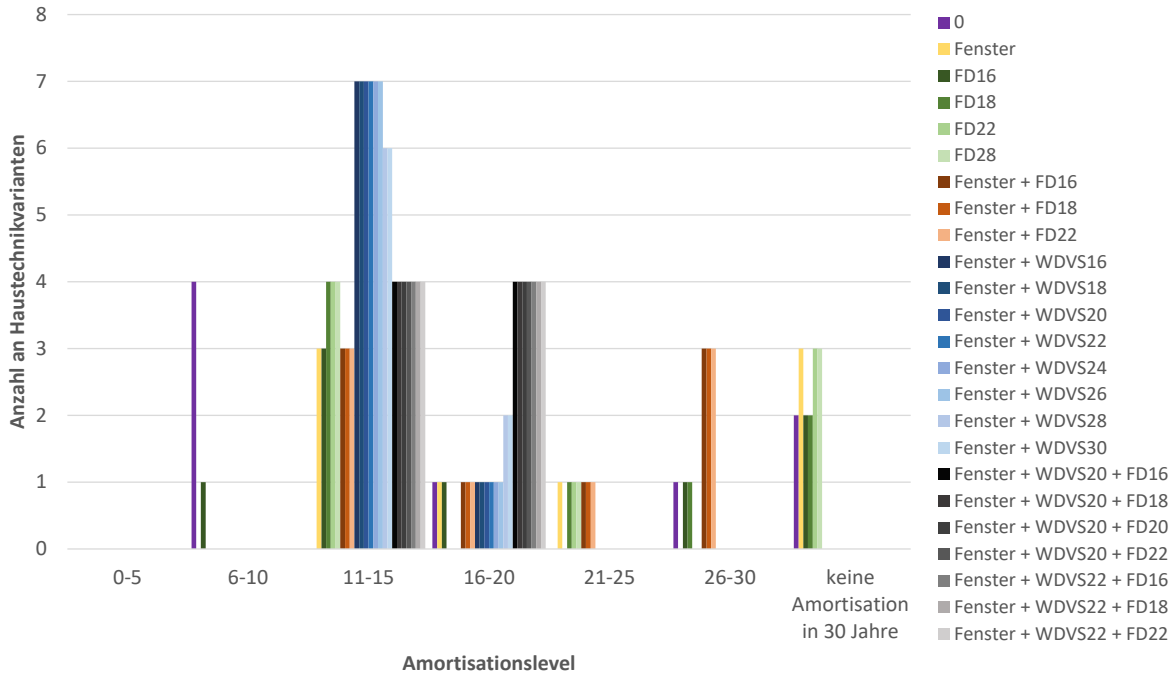


Abbildung 4.8: Amortisationslevel nach bautechnische Sanierungsvariante in Abhängigkeit der Haustechnikanlage beim MFH

[Eigene Darstellung]

Abbildung 4.9 zeigt das umgekehrte Bild. Hier ist ersichtlich, wann sich der Tausch welcher Heizung amortisiert. Hinterlegt sind hierbei die bautechnischen Sanierungsmaßnahmen. Betrachtet man also die Ergebnisse von Abbildung 4.8 in Kombination mit Abbildung 4.9 wird ersichtlich, wann sich welche bautechnische Sanierungsmaßnahme bei welcher Heizung amortisiert. Bei den dargestellten Ergebnissen des Mehrfamilienhauses wurden Heizungsanlagen mit den Energieträgern Heizöl (Öl), Erdgas (Gas), Fernwärme (FW), Hackschnitzel (HK), Pellets, Wärmepumpe Luft-

Wasser (WP Luft), Wärmepumpe Sole-Wasser mit Flächenkollektor (WP F) und Wärmepumpe Sole-Wasser mit Tiefenbohrung (WP T). Dieselben Heizungssysteme wurden auch beim Bürogebäude berücksichtigt. Bei den beiden Einfamilienhäusern wurde anstatt einer Hackschnitzelheizung eine Heizung mit Scheitholz (Holz) in die Berechnung miteinbezogen.
Allgemein zeigt sich, dass sich Sanierungsmaßnahmen bei Heizungen mit erneuerbaren Energieträgern in einer Zeitspanne von 15 Jahre üblicherweise amortisieren.

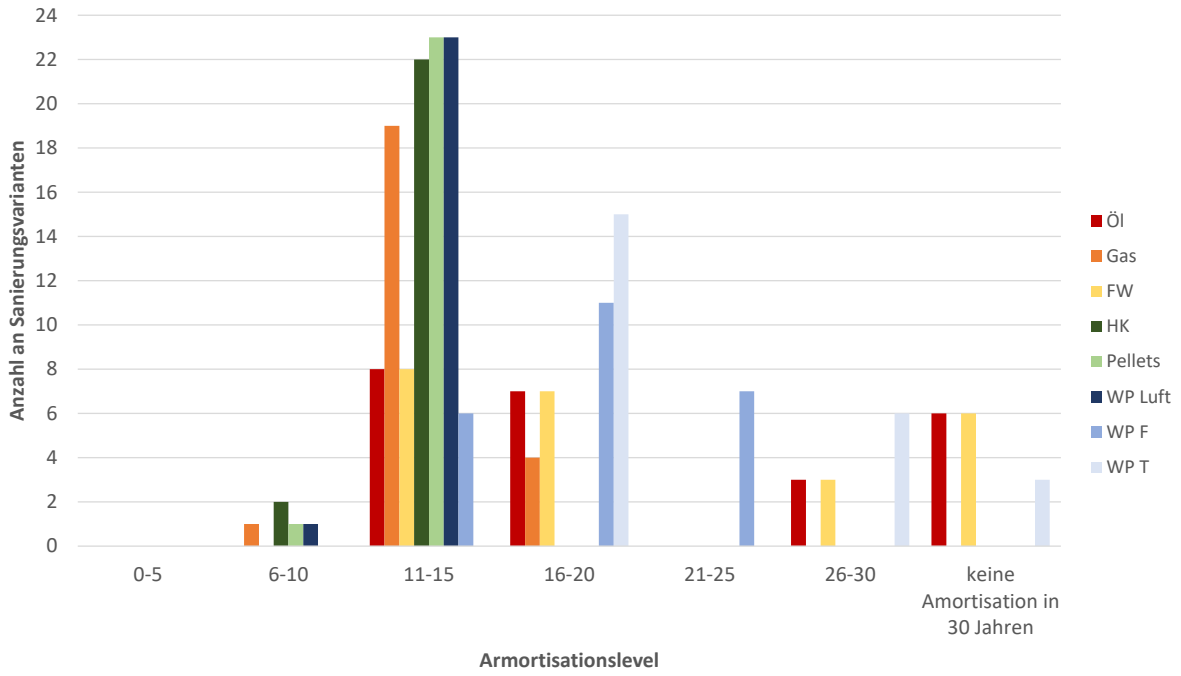


Abbildung 4.9: Amortisationslevel nach haustechnischen Sanierungsvarianten in Abhängigkeit der bautechnischen Sanierung beim MFH

[Eigene Darstellung]

In Abbildung 4.10 sich die Ergebnisse für den Fall dargestellt, dass neben einer bautechnischen Sanierung, einem Heizungstausch, zusätzlich noch eine solarthermische Anlage implementiert wird. Im Vergleich steigen die Amortisationszeiten dann.

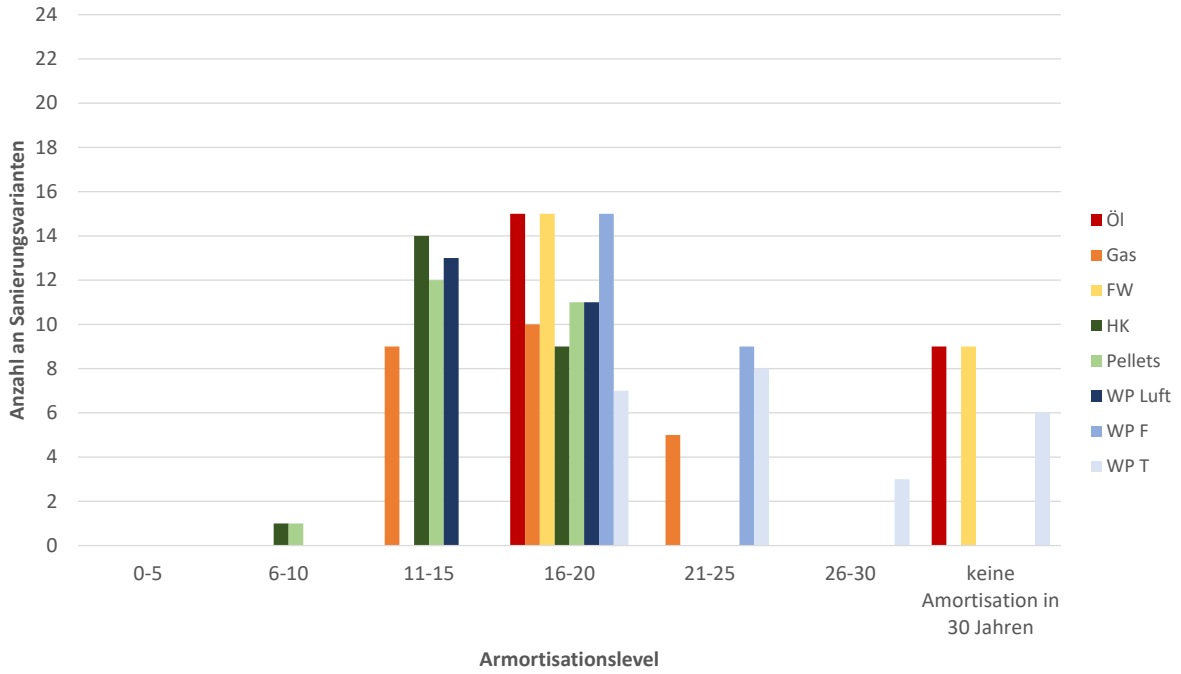


Abbildung 4.10: Amortisationslevel nach haustechnischen Sanierungsvarianten in Abhängigkeit der bautechnischen Sanierung, neben Heizungstausch auch Implementierung einer solarthermischen Anlage beim MFH
[Eigene Darstellung]

Neben der Amortisationszeit kann es für Investitionsentscheidungen auch von Interesse sein, wie rentabel die Investition nach einer bestimmten Zeit sich darstellt. In Abbildung 4.11 sind die Barwerte bei unterschiedlichen Heizungen dargestellt. Der Bereich ergibt sich, wie zuvor, dadurch, dass unterschiedliche Bautechnikvarianten hinterlegt sind. Es zeigt sich, dass es bei teuren Energieträgern, wie Erdöl und Fernwärme sowie bei Heizungsanlagen mit hohen Investitionskosten, wie Wärmepumpe mit Tiefenbohrung von hoher Bedeutung ist, welche bautechnischen Maßnahmen vollzogen werden, damit nach30 Jahren ein positiver Output erzielt wird. Bei günstigeren Energieträgern ist es hingegen von geringer Bedeutung, was gemacht wird, da bereits alleinig durch den Heizungstausch ein positives Ergebnis erzielt wird.

Bei der Option mit Photovoltaik sei hingewiesen, dass die Überschusseinspeisung nicht berücksichtigt wurde. Es wurde bei der Berechnung der, durch die Photovoltaikanlage reduzierte, Energiebedarf verwendet. Der Netto-Photovoltaikertrag wurde dem errechneten Energieausweis entnommen. Bei Berücksichtigung der Netzeinspeisung würden die Ergebnisse der Varianten mit Photovoltaik günstiger im Vergleich sein.

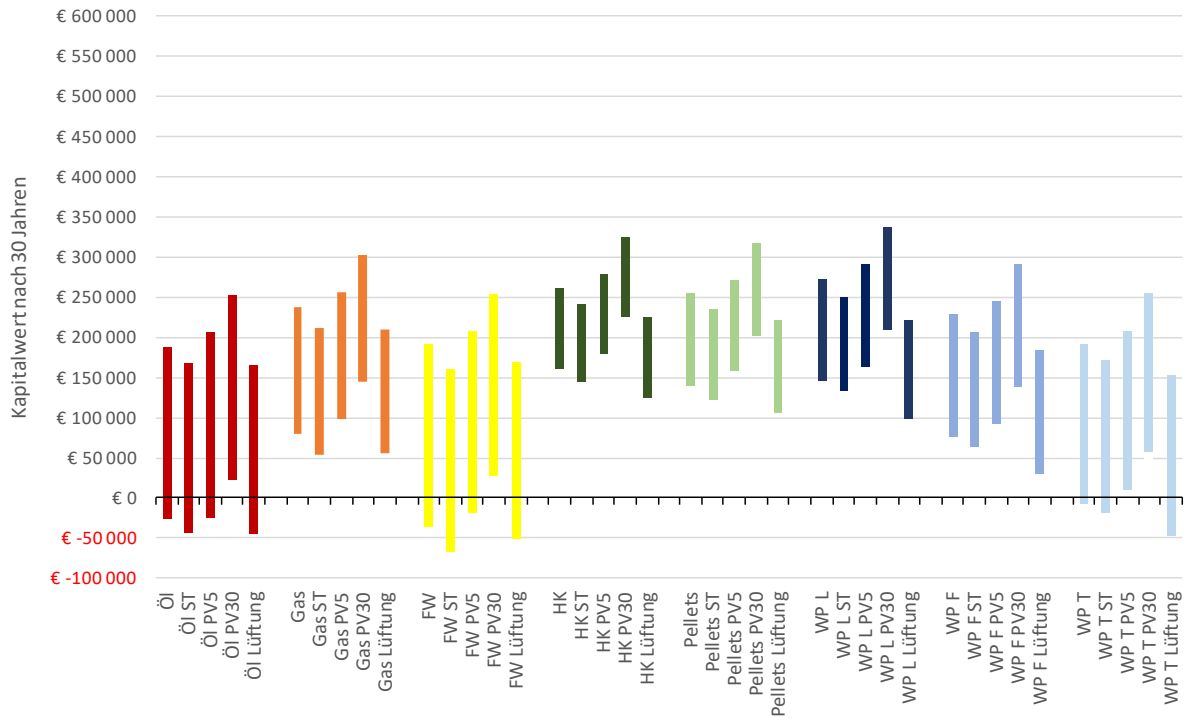


Abbildung 4.11: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim MFH [eigene Darstellung]

Abbildung 4.12 bis Abbildung 4.14 zeigen den Rückfluss des eingesetzten Kapital im Zuge der Sanierung während des Betrachtungszeitraums von 30 Jahren am Beispiel des Mehrfamilienhauses. Es zeigt sich, dass sich geringe Investitionen, wie lediglich die Durchführung eines Heizungstausches, schnell amortisieren. Über längeren Zeitraum betrachtet sind hohe Investitionen (WDVS + Fenstertausch oder WDVS+OGD +Fenstertausch) wirtschaftlich zu bevorzugen.

Allgemein konnte bei den unterschiedlichen Varianten festgestellt werden, dass umfangreichere Sanierungsmaßnahmen nach 30 Jahren einen höheren Kapitalwert erreichen.

Abbildung 4.12: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH
[Eigene Darstellung]

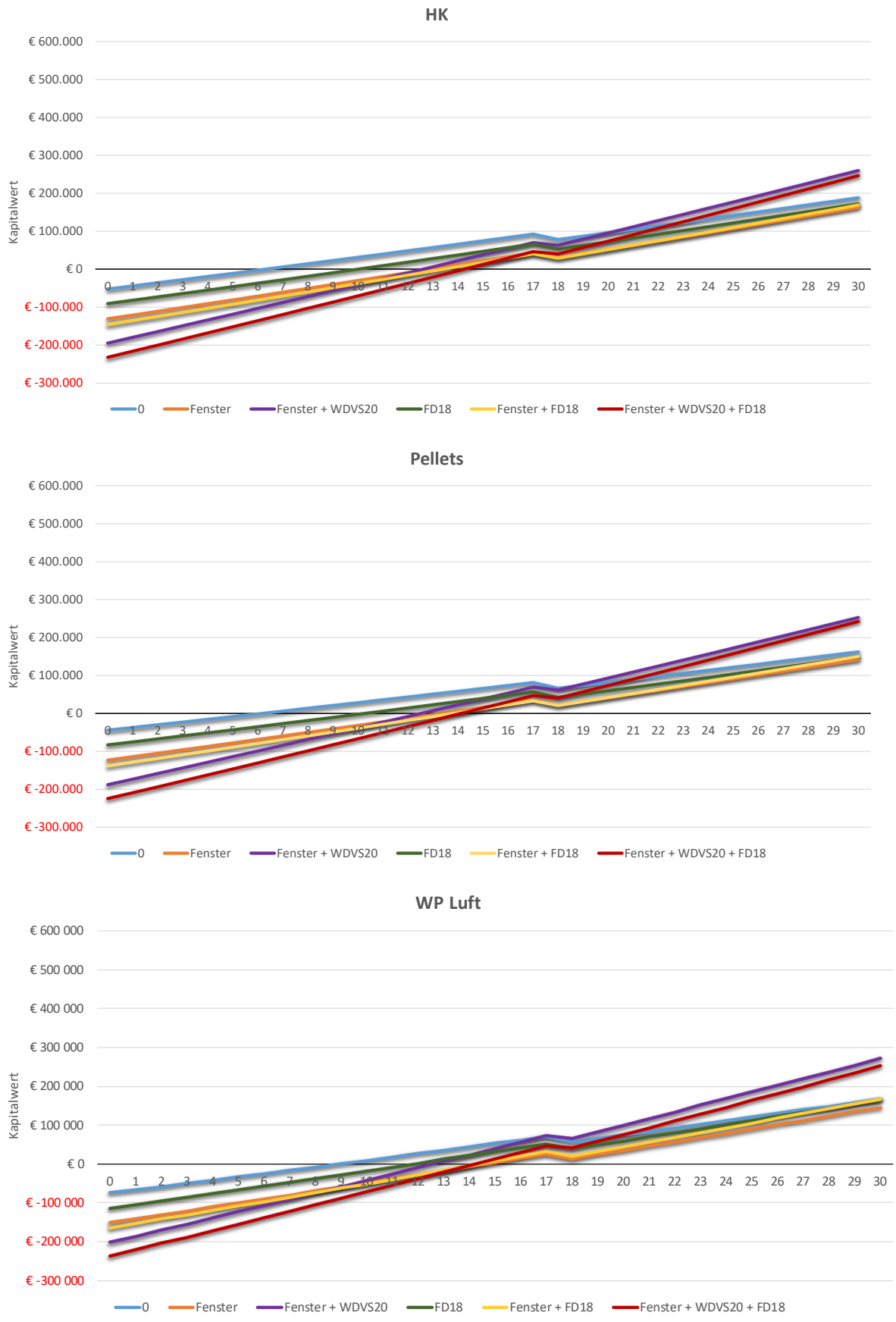


Abbildung 4.13: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH
[Eigene Darstellung]

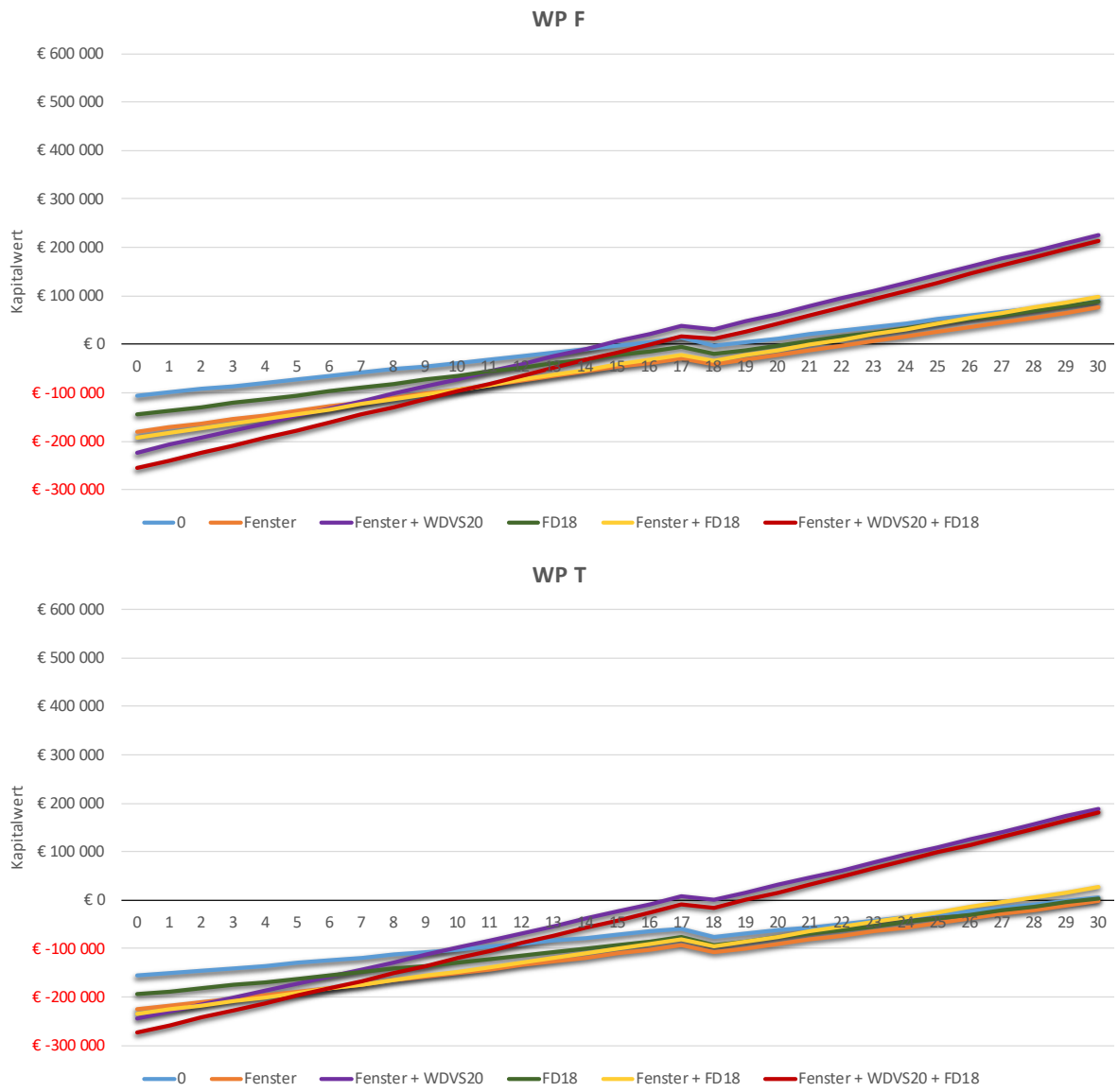


Abbildung 4.14: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH
[Eigene Darstellung]

4.5 Amortisation bei Betrachtung der Energiekosten und Umweltkosten

Bei Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ergibt sich hinsichtlich der Amortisation ein anderes Bild. In Abbildung 4.15 ist die Amortisation unterschiedlicher bautechnischer Varianten berechnet mir den Energie- und Umweltkosten ersichtlich. Im Vergleich zu Abbildung 4.8 zeigt sich, dass sich die Maßnahmen in kürzerer Zeit amortisieren, wenn neben den Energiekosten auch die Umweltkosten berücksichtigt werden. Lediglich eine Maßnahme amortisiert sich nicht binnen 30 Jahre, die meisten Maßnahmen amortisieren sich im Zeitraum 6-15 Jahre.

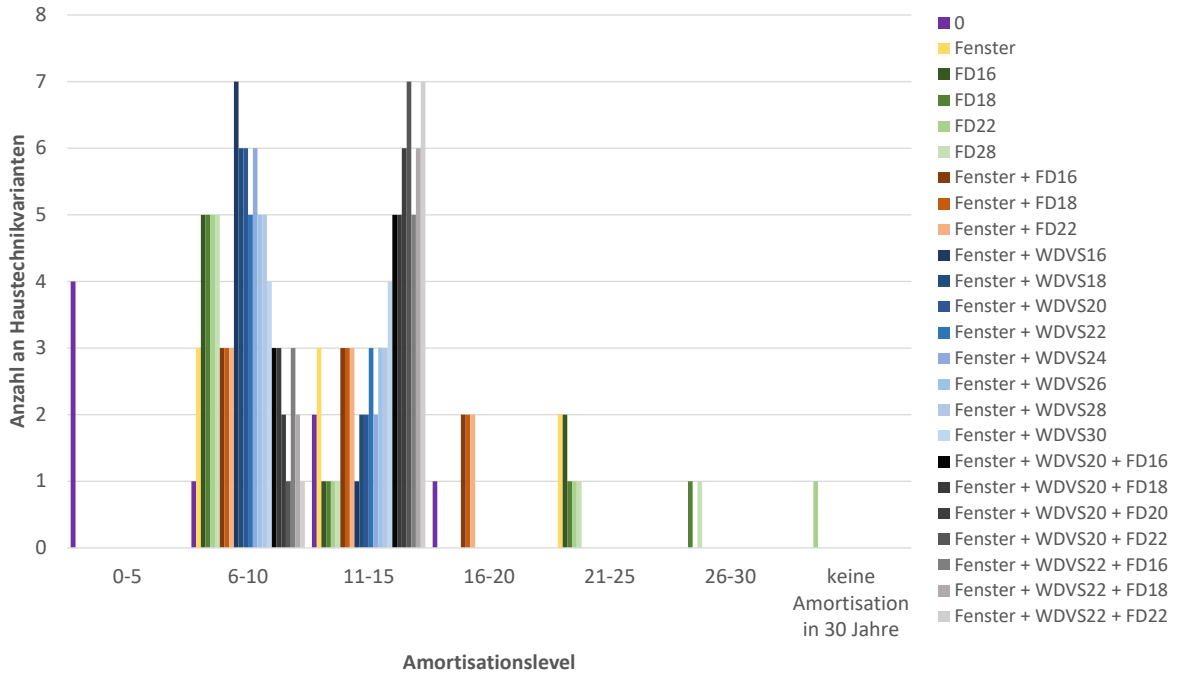


Abbildung 4.15: Amortisationslevel nach bautechnische Sanierungsvariante in Abhängigkeit der Haustechnikanlage beim MFH bei Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

[Eigene Darstellung]

Abbildung 4.16 zeigt die Amortisation der Varianten nach der implementierten Haustechnik. Es zeigt sich, dass die Berücksichtigung der Umweltkosten dazu führt, dass sich Heizungsanalgen mit erneuerbaren Energieträgern und Wärmepumpen im Zeitraum von bis zu 15 Jahren amortisieren. Lediglich jene Varianten, bei welchen fossile Ressourcen oder Fernwärme für die Energiebereitstellung eingesetzt werden, weisen höhere Amortisationszeiten auf.

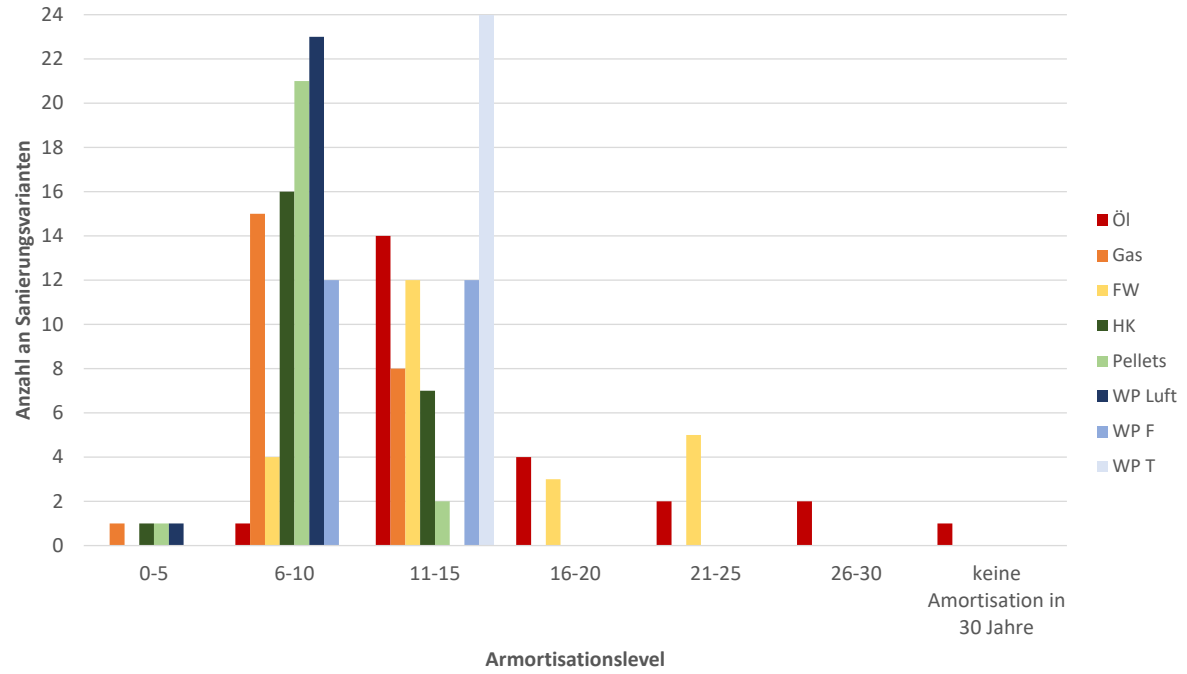


Abbildung 4.16: Amortisationslevel nach haustechnischen Sanierungsvarianten in Abhängigkeit der bautechnischen Sanierung unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten, [Eigene Darstellung]

In Abbildung 4.17 ist der Kapitalwert der unterschiedlichen Sanierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten dargestellt.

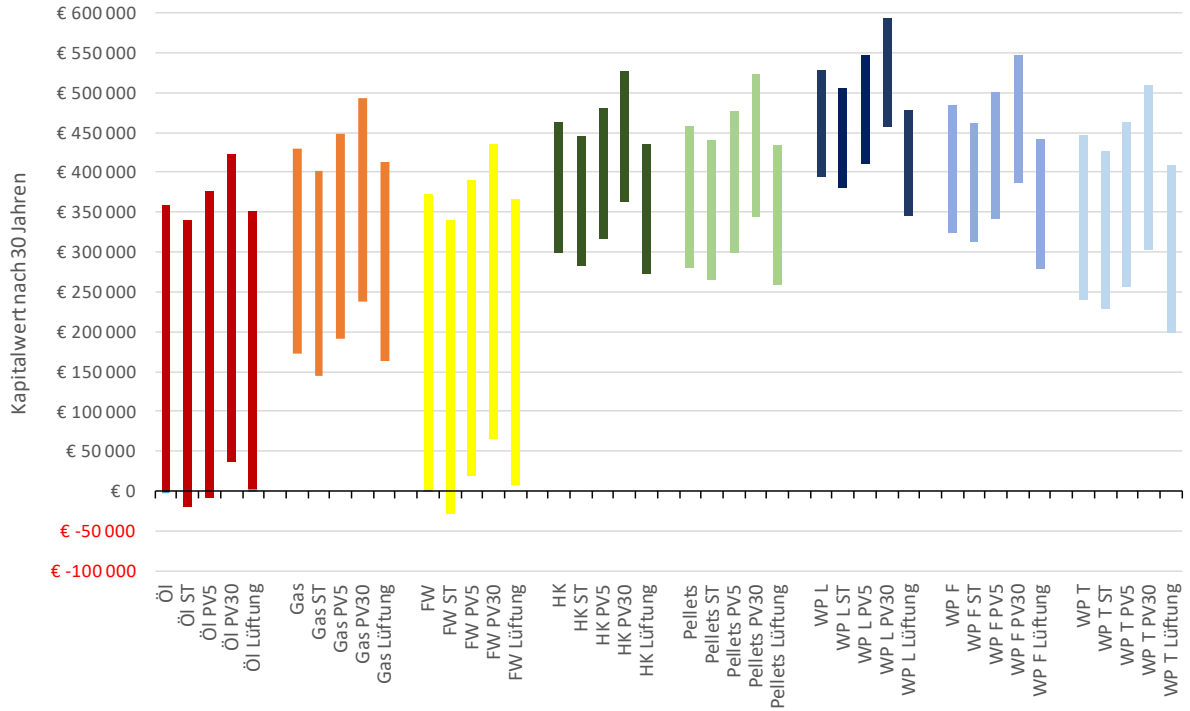


Abbildung 4.17: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten, [Eigene Darstellung]

In Abbildung 4.18: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH; berücksichtigt Umweltkosten neben Energiekosten. Abbildung 4.18 bis Abbildung 4.20 verdeutlichen die Rückflüsse des, im Zuge der Investition eingesetzten, Kapitals der Sanierung für unterschiedliche Haustechnikvarianten am Beispiel der Mustergebäude Mehrfamilienhaus im Zeitraum von 30 Jahren.

Es werden in diesem Bericht nur ausgewählte Ergebnisse gezeigt, da eine Darstellung aller den Umfang übersteigen würde. Auf den nächsten Seiten finden sich Ergebnisse zum Mustergebäude MFH. Für die anderen Gebäude sind die Outputs der Analyse im Anhang dargestellt. Nicht dargestellt sind die Ergebnisse mit den Optionen Solarthermie, Photovoltaik und Lüftungsanlage.

Bei Interesse an einzelnen Ergebnisse kann bei der FH Salzburg unter smart.forschung@fh-salzburg.ac.at angefragt werden.

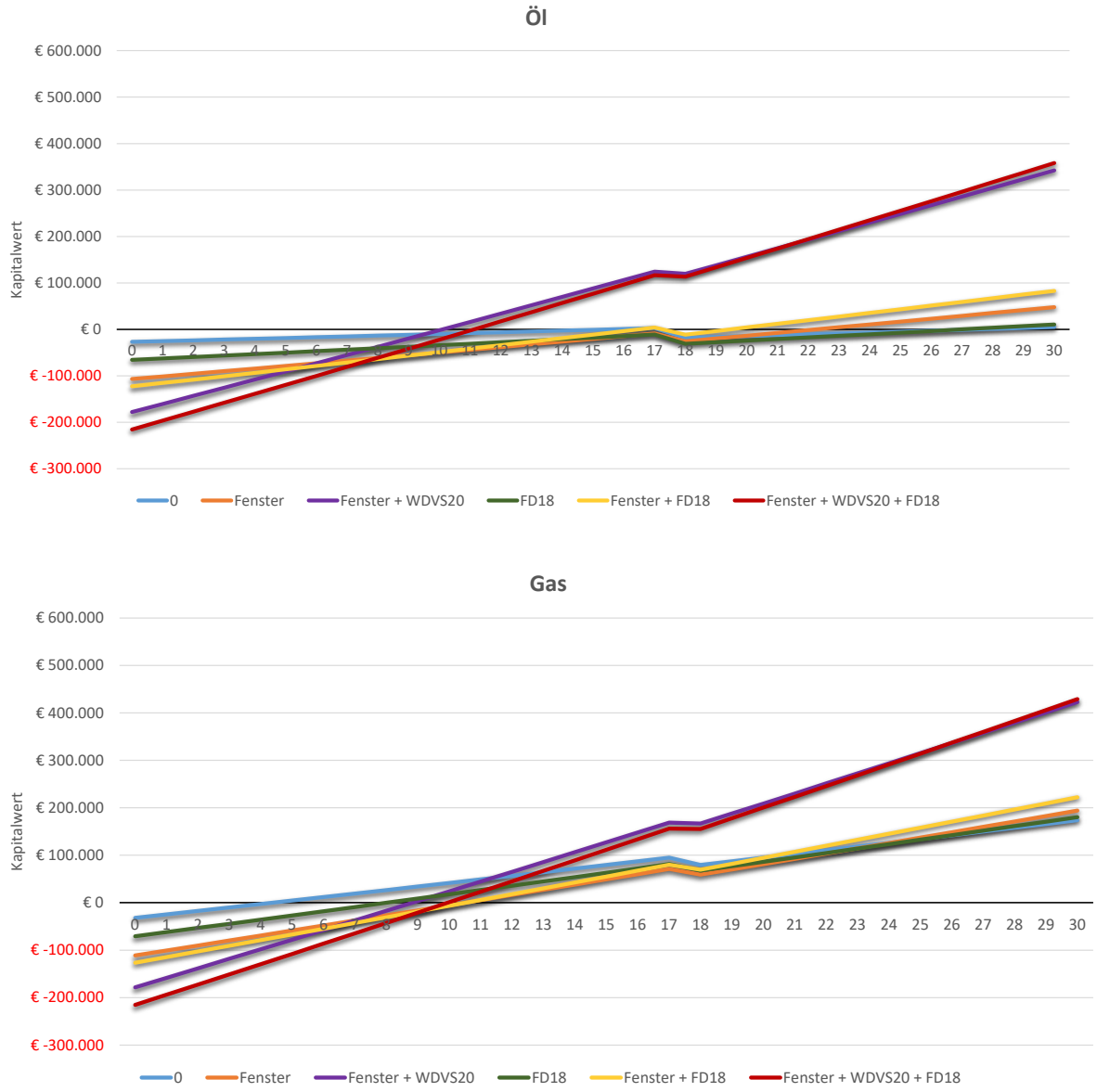


Abbildung 4.18: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH; berücksichtigt Umweltkosten neben Energiekosten, [Eigene Darstellung]

Abbildung 4.19: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH; berücksichtigt Umweltkosten neben Energiekosten, [Eigene Darstellung]

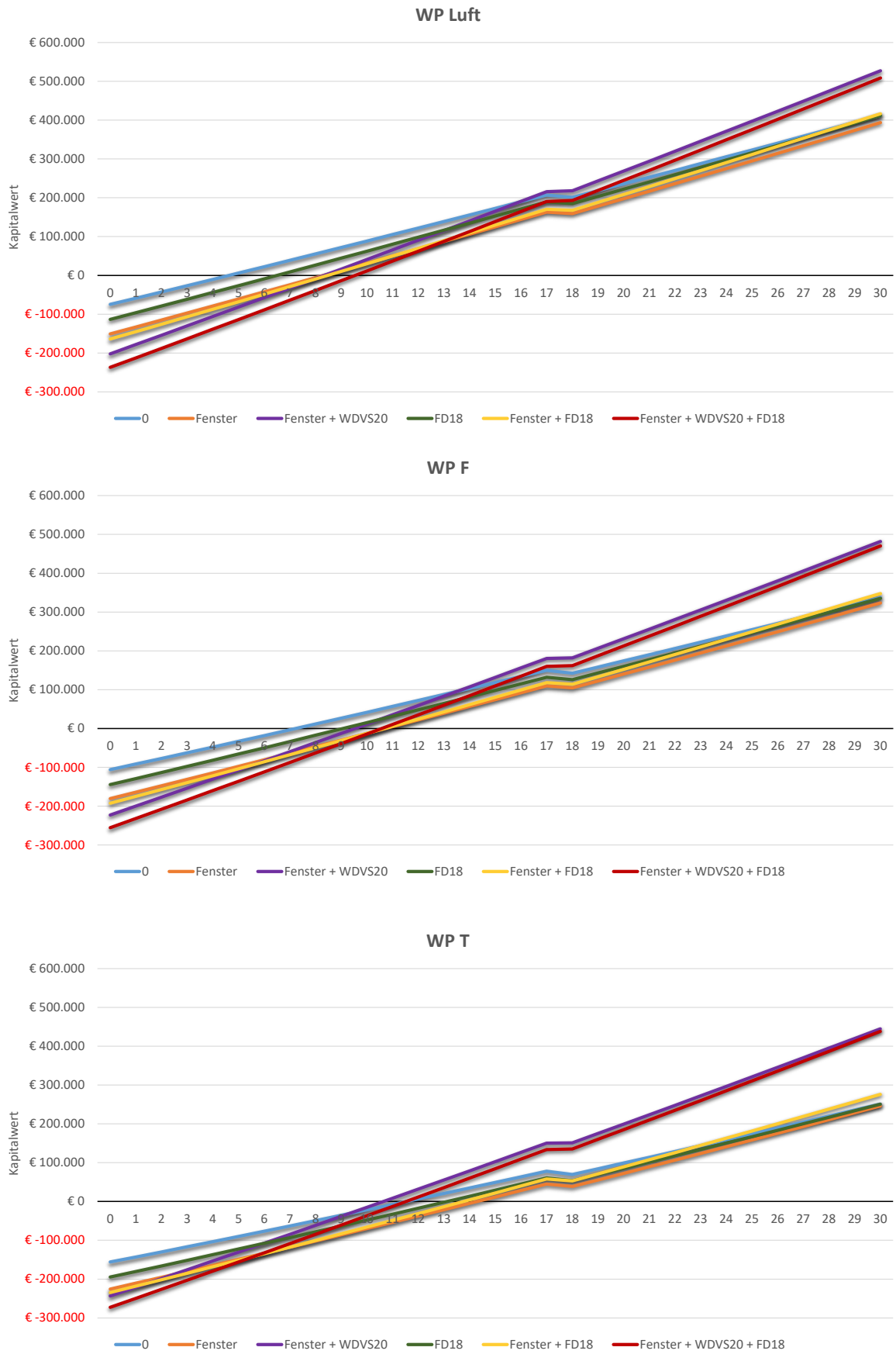


Abbildung 4.20: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH; berücksichtigt Umweltkosten neben Energiekosten [Eigene Darstellung]

4.6 Conclusio

Die Analyse der unterschiedlichen Sanierungsvarianten zeigt, dass sich die meisten Sanierungsmaßnahmen im Zeitraum von 11-20 Jahren amortisieren. Die Amortisation der Sanierungsmaßnahme, unabhängig vom Ausmaß in Kombination mit Heizungstausch auf Hackschnitzel, Pellets oder Wärmepumpe Luft, liegt meist bei 6-15 Jahren. Ein Fenstertausch kombiniert mit WDVS rechnet sich unabhängig vom Heizungssystem fast immer nach 11-15 Jahren. Ein Fenstertausch allein oder eine Flachdachdämmung stellt das ungünstigste Verhältnis zwischen Einsparung zu Investitionskosten dar. Die Folge ist, dass es bei diesen Varianten oftmals keine Amortisation binnen 30 Jahren gibt, v.a. bei Heizungen mit Öl, Gas oder Wärmepumpen mit Tiefenbohrung. Durch die hohen Investitionskosten bei Solarthermie und Lüftungsanlagen kommt es zu höheren Amortisationszeiten, meist im Bereich von 16-20 Jahren. Berücksichtigt man neben den Energiekosten ebenso die Umweltkosten kommt es zu einer Verringerung der Amortisationszeiten, die Amortisationszeiten liegen hierbei meist im Bereich von 6-15 Jahren. Die größte Veränderung gibt es bei Berücksichtigung der Umweltkosten bei Heizungssystemen mit Wärmepumpen, grundlegend hierfür sind die geringen Umweltkosten für Strom in Österreich.

Geringe Amortisationszeiten heißt allerdings nicht, dass die Maßnahme betriebswirtschaftlich am günstigsten ist. Betrachtet man den Kapitalwert nach 30 Jahren zeigt sich, dass sich zu Beginn hohe Investitionen bezahlt machen. Wird eine umfangreiche Sanierung durchgeführt, mit Dämmung des Dachs, der Außenwand und Fenstertausch, wird insgesamt der höchste Kapitalwert am Ende des Betrachtungszeitraumes erreicht.

5 Big Energy Data

Seit 2006 werden kontinuierlich Energieausweise auf die Zeus-Datenbank geladen. Die Datenbank beinhaltet für das Bundesland Salzburg eine hohe Anzahl an Datensätzen, welche bisher nur in geringem Ausmaß analysiert wurden. Ziel dieses Kapitels ist es, Datenstrukturen zu erkennen und Zusammenhänge zu identifizieren. Eine Plausibilitätsprüfung der Datensätze erscheint dabei unabdingbar, so werden fehlerhafte (nicht plausible) Daten aussortiert. Neben der Datenbereinigung verfolgt die Voranalyse auch das Ziel die Möglichkeit der anonymisierten Auswertung der Daten zu betrachten. Weiters sollen mittels Auswertungen bestimmte Fragestellungen beantwortet werden. Bspw. soll festgestellt werden wie hoch der energetische Zustand und das Sanierungspotenzial unterschiedlicher Gebäudekategorien ist.

In Abhängigkeit der Fragestellungen wurden unterschiedliche Wege zur Datenanalyse Auswertung gewählt. Die Standardprogramme stellten dabei MS Office Excel 2013 und IBM SPSS Statistics 19 dar. Diese Programme wurden gewählt, da es sich hierbei um Softwareapplikationen handelt, welche vielfach für die Datenauswertung herangezogen werden. Bei MS Office Excel handelt es sich um ein Programm, welches insbesondere für die Berechnung neuer Daten herangezogen werden kann. IBM SPSS Statitstics ist ein Statistikprogramm, welche die Auswertung und Suche von Zusammenhängen bei einer hohen Datenanzahl einfach ermöglicht.

Für die Untersuchung wurden seitens der gizmocraft, design and technology GmbH Exporte von ZEUS zu Verfügung gestellt. Der erste Export enthält rund 34.000 Datensätze (Energieausweise) für den Zeitraum 2006 bis Juli 2014. Der zweite Export enthält die Daten der Energieausweise aus dem gesamten Jahr 2014 bis 1. Juni 2015. Die in Folge dargestellten Ergebnisse entstammen der Datengrundlage 2006 bis 06/2015, das sind knapp 40.000 Datensätze.

Zum Zeitpunkt der Datenauswertung war die Version XML 3.1 gültig. Neben den Energieausweisen wurde auch ein Export der Energiebuchhaltung mit Stichtag 10.07.2014 für die Datenauswertung zu Verfügung gestellt, die für diverse Auswertungen genutzt wurde.

5.1 Voranalyse

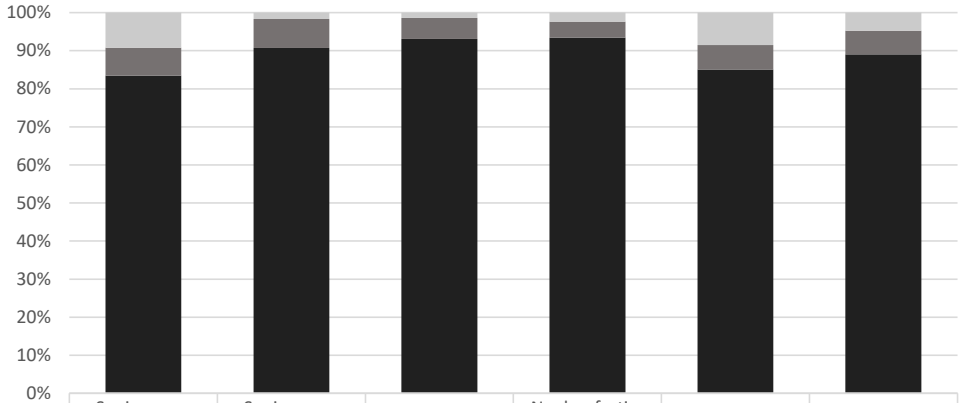
Bevor mit den Auswertungen begonnen wurde, wurden die Datensätze auf Plausibilität geprüft. Die Ausschlusskriterien der Plausibilitätsanalyse sind im Anhang A1 ersichtlich.

Vielfach werden Energieausweise doppelt oder mehrfach in die Zeus-Datenbank geladen, dieser Umstand musste ebenso berücksichtigt werden. Ein Mehrfach-Upload eines Energieausweises desselben Typs beruht auf unterschiedlichen Gründen. Einerseits ist es möglich, dass der EA für unterschiedliche Zwecke, wie bspw. Wohnbauförderung und Sanierungsscheck, in die Datenbank

mehrfach hochgeladen wurde. Andererseits kommt es ebenso vor, dass die Energieausweise desselben Typs für ein Gebäude zu einem unterschiedlichen Zeitpunkt in die Datenbank geladen wurden und nicht ident sind. Denkbar wäre dabei, dass sich die Planung verändert hat und somit auch ein neuer Planungsenergieausweis erstellt wurde. Eine weitere Möglichkeit ist, dass in unterschiedlichen Jahren Sanierungen bei einem Objekt durchgeführt wurden und dabei jeweils ein Energieausweis erstellt wurde. Im Falle, dass mehrere EA desselben Typs für ein Objekt vorhanden sind, wurde der aktuellere EA berücksichtigt.

Aktuellere Daten führen nicht nur zu einer Erweiterung der Datenbank (mehrere Datensätze), sondern auch zur Veränderung des betrachteten Dateninhaltes. Dadurch können sich Ergebnisse von früheren Auswertungen von den hier dargestellten unterscheiden.

In Abbildung 5.1 zeigt sich das Ergebnis der Voranalyse. Von den 39.561 Datensätzen (Stand 01.06.2015) mussten insgesamt 10,9 % gefiltert werden, da sie entweder nicht plausibel sind oder mehrfach ein Energieausweis desselben Typs (Bestand, Sanierungsplanung, Sanierungsfertigstellung, Neubauplanung, Neubaufertigstellung) in die Datenbank geladen wurde. Die Datengrundlage für die weitere Analyse hat sich dadurch auf 35.230 Datensätze reduziert. Der größte Anteil dabei sind Bestand-EA (43%), gefolgt von Planungsenergieausweisen für Sanierung und Neubau (22% bzw. 19%). Die Fertigstellungsenergieausweise für Sanierung und Neubau machen 9% bzw. 7% der Datengrundlage aus.



	Sanierungs-planung	Sanierungs-fertigstellung	Bestand	Neubaufertig-stellung	Neubauplanung	Gesamt
nicht plausibel	860	58	225	64	669	1876
Mehrfacheintrag gleicher EA	686	262	891	114	502	2455
plausibel, einmalig	7795	3125	15104	2532	6674	35230

Abbildung 5.1: Voranalyse der Datensätze
[Eigene Darstellung]

Neben der Plausibilität und den Mehrfacheintrag selbiger EA in die Datenbank ist auch zu beach-

ten, dass es unterschiedliche Energieausweise zu unterschiedlichen Zwecken von ein und denselben Gebäuden geben kann. Bspw. Gibt es vor der Sanierung einen Bestandsenergieausweis, bei Sanierungsplanung einen Sanierungsplanungsenergieausweis und nach der Sanierung einen Sanierungsfertigstellungsenergieausweis. Um bestimmte Charakteristika des tatsächlichen Gebäudebestands darstellen zu können (z.B. Gebäudeanteil mit Solaranalagen nach Typ), erweist es sich daher als sinnvoll nur den letztgültigen Energieausweis der Gebäude zu betrachten. Im Falle eines sanierten Gebäudes wird das der Sanierungsfertigstellungsenergieausweis sein und nicht der ältere Bestandsenergieausweis. Die Berücksichtigung dieses Aspektes führt zu einer Reduktion der Datengrundlage und ist bei den einzelnen Auswertungen durch die Begrifflichkeit „letztgültiger Energieausweis“ gekennzeichnet.

Im Rahmen der Analyse wurden lediglich Energieausweise für Bestand, Sanierungsfertigstellung (Sanierung) und Neubaufertigstellung (Neubau) betrachtet, da diese die gebaute Umwelt abbilden. Weiters wurden ausschließlich Wohngebäude analysiert, da eine gemeinsame Betrachtung mit Nichtwohngebäuden als nicht zielführend angesehen wurde. Bei der Betrachtung ausschließlich der letztgültigen Energieausweise der genannten EA-Typen von Wohngebäuden reduziert sich die Datengrundlage auf 16.168 (2.619 Sanierungsfertigstellung, 11.403 Bestand und 2.146 Neubaufertigstellung).

Im Anhang finden sich die Kriterien für den Datenausschluss bei der Plausibilitätsanalyse, sowie eine Auflistung von Problemen, welche bei der Datenauswertung eingetreten sind.

5.2 Auswertungen

Im Rahmen dieses Kapitels werden unterschiedliche Datenauswertungen durchgeführt. Der Fokus ist, Bestand mit Sanierung und Neubau zu vergleichen. Weiters wird festgestellt in welchem Bereich sich die energietechnischen Kennzahlen der Salzburger Bauten befinden. Nicht zuletzt wird betrachtet, welche Bedeutung der Einsatz von erneuerbaren Energien hat. Da es in vielen Fällen nicht als sinnvoll erachtet wurde Nichtwohngebäude mit Wohngebäuden zu vergleichen, wurde der Fokus der Auswertungen auf Wohngebäude gelegt. Separate Auswertungen für Nichtwohngebäude werden nicht dargestellt, da die Datengrundlage für die Erlangung aussagekräftiger Ergebnisse in den meisten Fällen zu gering ist.

5.2.1 Heizwärmebedarf von Wohngebäuden

In Abbildung 5.2 ist der Heizwärmebedarf der betrachteten Wohngebäude mit Hilfe eines Histogramms dargestellt. Es zeigt sich, dass der HWB_{SK} im Bereich von wenigen kWh/m².a bis hin zu nahezu 800 kWh/m².a liegt. Weiters lässt sich erkennen, dass der HWB_{SK} der analysierten Gebäude hauptsächlich im Bereich von 40 bis etwa 160 kWh liegt. Der Median des HWB_{SK} ist 93,3 kWh/m².a und der Mittelwert beträgt 112,9 kWh/m².a.

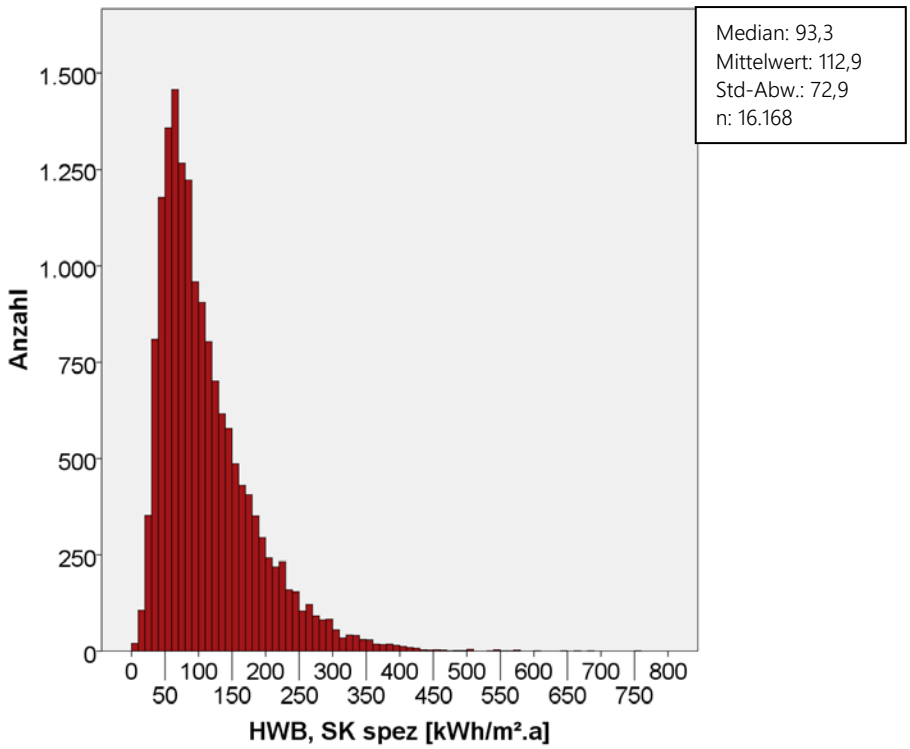


Abbildung 5.2: Heizwärmebedarf von Wohngebäuden
[Eigene Darstellung]

Der HWB_{SK} über alle analysierten Energieausweise variiert im hohen Maße. Es zeigt sich, dass es einen Unterschied beim Heizwärmebedarf der Energieausweistypen Bestand, Sanierung und Neubau gibt. Beim Bestand ist der Median des HWB_{SK} 114 kWh/m².a, bei der Sanierungsfertigstellung 70 kWh/m².a und beim Neubau 41 kWh/m².a. Der Vergleich ist in Abbildung 5.3 anhand von Boxplots dargestellt. Der untere Whisker zeigt den geringsten HWB_{SK}, der Beginn der Box stellt die Lage von den 25% geringsten Werten, die Linie in der Box kennzeichnet den Median und das Ende der Box das obere Quartil. Die Punkte und Sterne oberhalb der Box sind statistische Ausreißer.

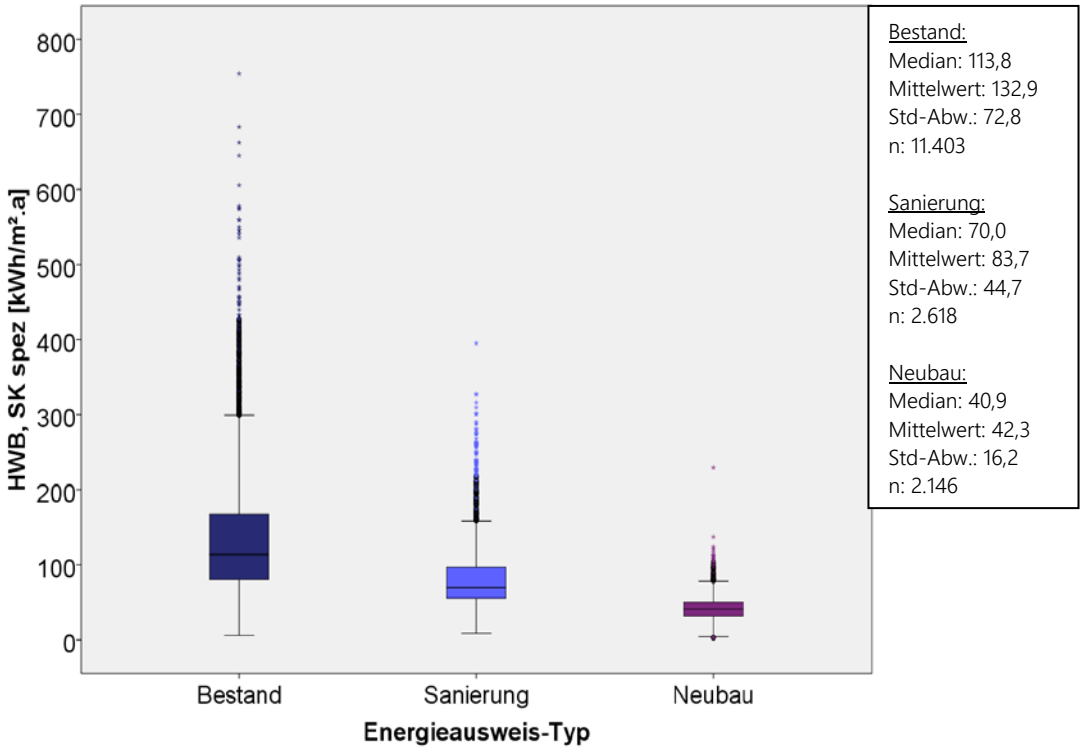


Abbildung 5.3: Heizwärmebedarf von Wohngebäuden nach Energieausweistyp
[Eigene Darstellung]

Eine nähere Betrachtung des HWB_{SK} vom Bestand zeigt, dass es einen Unterschied zwischen den Baualtersklassen gibt (siehe Abbildung 5.4). Während Bestandsgebäude, die bis 1960 gebaut wurden, einen Median des HWB_{SK} von rund 150 kWh/m².a haben, der HWB_{SK} bei Gebäuden errichtet in den 1960er und 1970er Jahren auf rund 130 kWh/m².a . Einen deutlich geringeren HWB_{SK} weisen jüngere Gebäude auf, jene aus den 1980er Jahren 107 kWh/m².a, den 1990er Jahren 81 kWh/m².a. Wohngebäude, welche im Zeitraum 2001 – 2010 erbaut worden sind, haben einen mittleren HWB_{SK} (Median) von 60 kWh/m².a. Jüngere Gebäude sind der Kategorie Neubau zugeordnet und damit nicht in dieser Grafik ersichtlich. Die rote Linie zeigt den Median des HWB_{SK} über sämtliche Baualtersklassen.

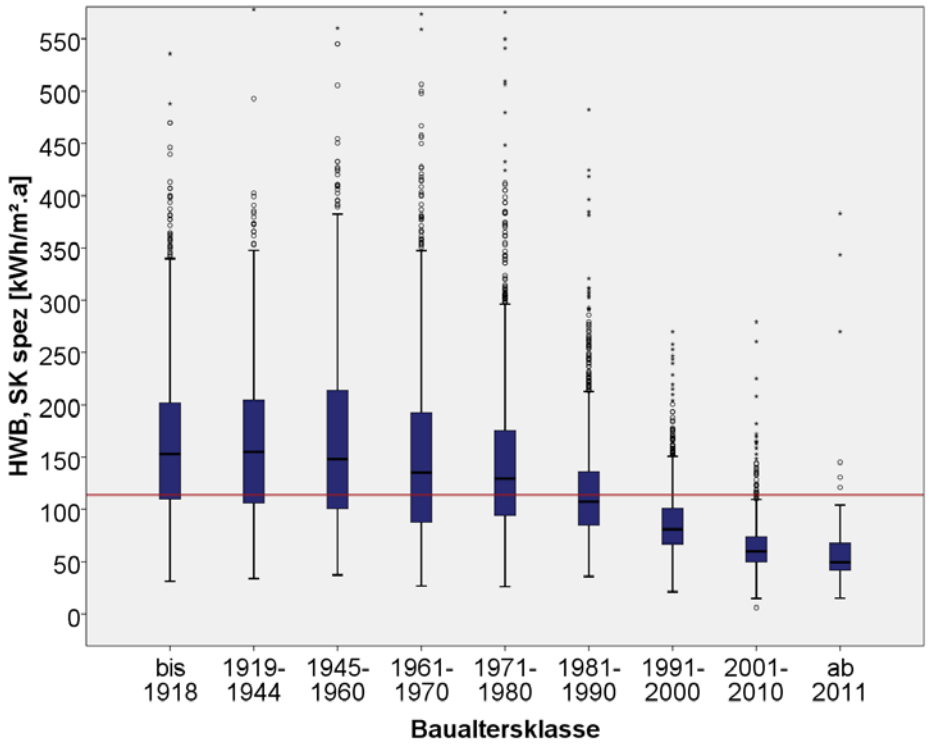


Abbildung 5.4: Spezifischer Heizwärmebedarf vom Bestand bezogen auf die Baualtersklasse [Eigene Darstellung]

In Abbildung 5.5 ist der HWB_{SK} für die Sanierungsfertigstellung nach dem Jahr der Sanierung dargestellt. Es zeigt sich, dass der erreichte HWB_{SK} bei Gebäude, welche in der jüngeren Vergangenheit saniert wurde, geringer ist als bei jenen, bei welchen die baulichen Maßnahmen in ferner Vergangenheit durchgeführt wurden. Grundlegend können Veränderungen am Stand der Technik sein und strengere fördertechnische und rechtliche Rahmenbedingungen.

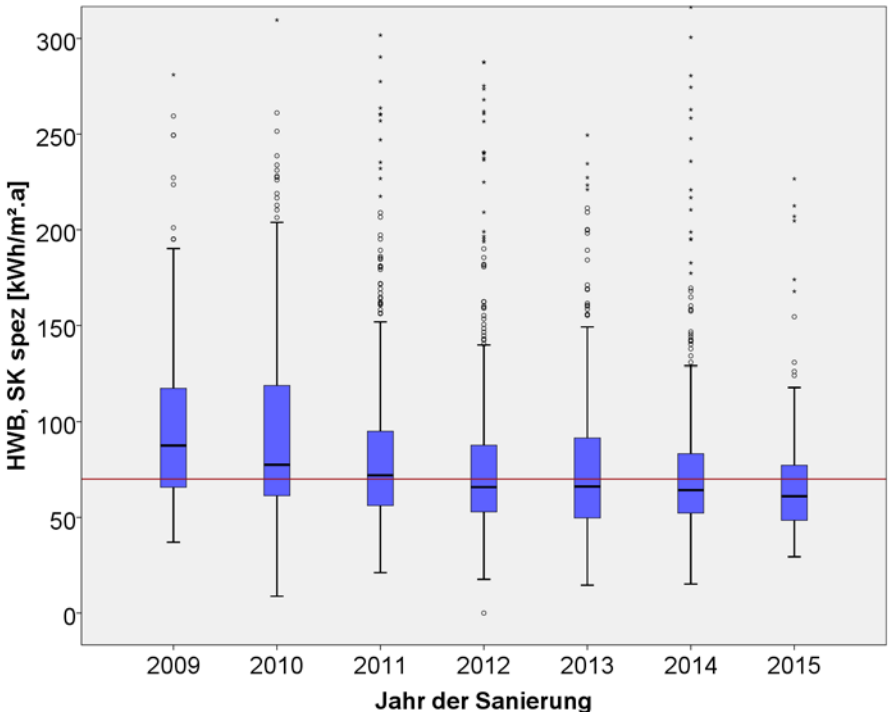


Abbildung 5.5: Spezifischer Heizwärmebedarf von Sanierungsfertigstellung bezogen auf das Jahr der Sanierung [Eigene Darstellung]

Abbildung 5.6 visualisiert die Verteilung der HWB_{SK} beim Neubau von Wohngebäuden in Abhängigkeit des Sanierungsjahres anhand von Boxplots. Es zeigt sich, wie auch bei der Sanierung, dass bei in der jüngeren Vergangenheit durchgeführten baulichen Maßnahmen der HWB_{SK} geringer ist als bei jenen in fernerer Vergangenheit.

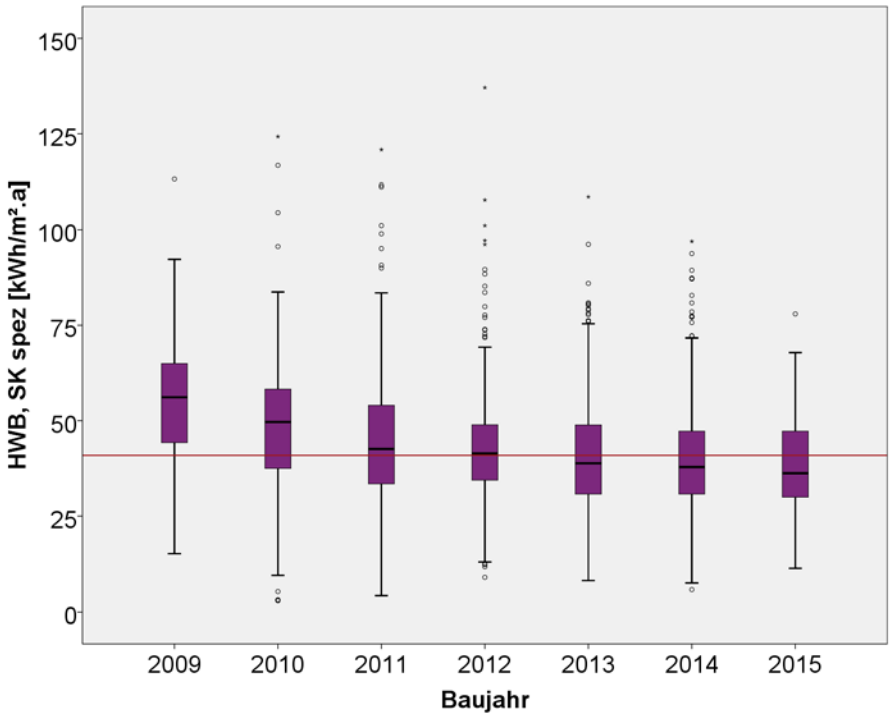


Abbildung 5.6: Spezifischer Heizwärmebedarf von Neubaufertigstellung bezogen auf das Baujahr [Eigene Darstellung]

5.2.2 Wohngebäude mit PV und Solarthermie

Vor allem jüngere Gebäude weisen oftmals PV-Anlagen auf. Wie in Abbildung 5.7 ersichtlich, sind bei rund 8 % der Gebäude, welche nach 2010 errichtet wurden, PV-Anlagen installiert. Bei sämtlichen anderen Baualtersklassen liegt der Anteil bei rund 1 %. In Summe sind 261 von 16.168 letztgültigen Energieausweisen von Wohnbauten (Bestand, Sanierungs- und Neubaufertigstellung) mit PV-Anlagen ausgestellt.

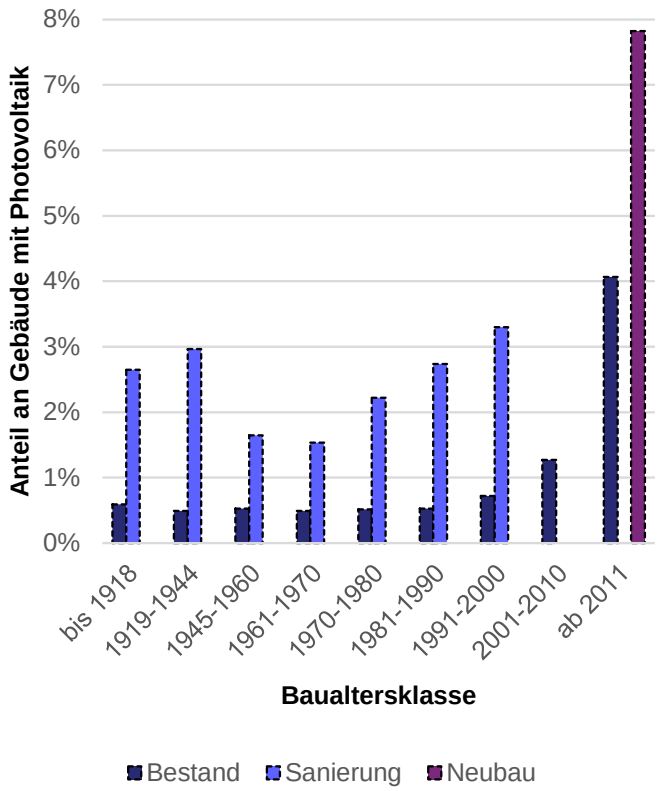


Abbildung 5.7: Wohngebäude mit Photovoltaik-Anlage (letztgültige EA)
[Eigene Darstellung]

In Abbildung 5.8 ist der Anteil an Wohngebäude mit Solarthermie dargestellt. Es zeigt sich dabei, dass der Anteil bei Gebäuden aus dem 21. Jhdt. deutlich höher ist als bei Gebäuden höhreren Baualters. 40% der Wohngebäude, welche nach 2010 errichtet wurden weisen bereits eine Solaranlage auf.

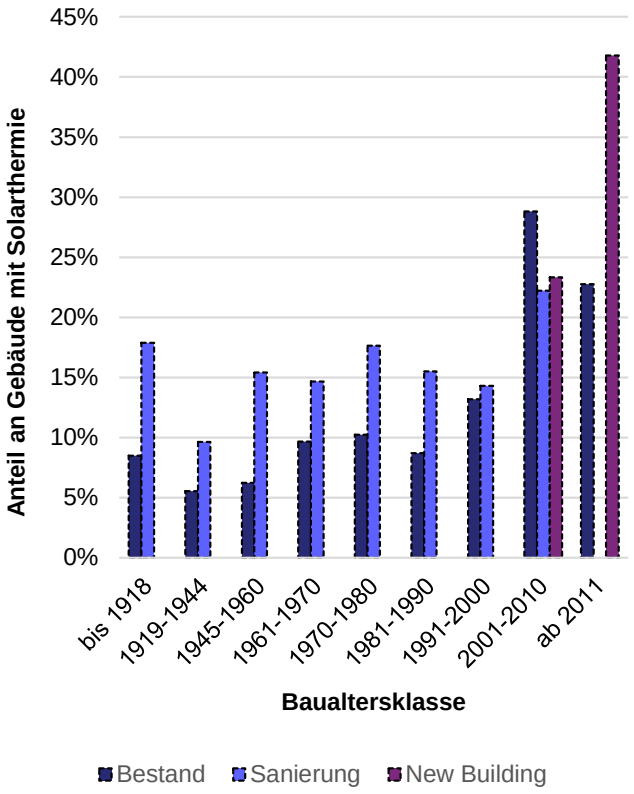


Abbildung 5.8: Wohngebäude mit Solarthermie (letztgültige EA) [Eigene Darstellung]

Die Wohngebäude, bei welchen nur eine PV-Anlage, nur eine solarthermische Anlage oder sowohl eine PV- als auch eine solarthermische Anlage installiert wurde, sind in Abbildung 5.9 ersichtlich.

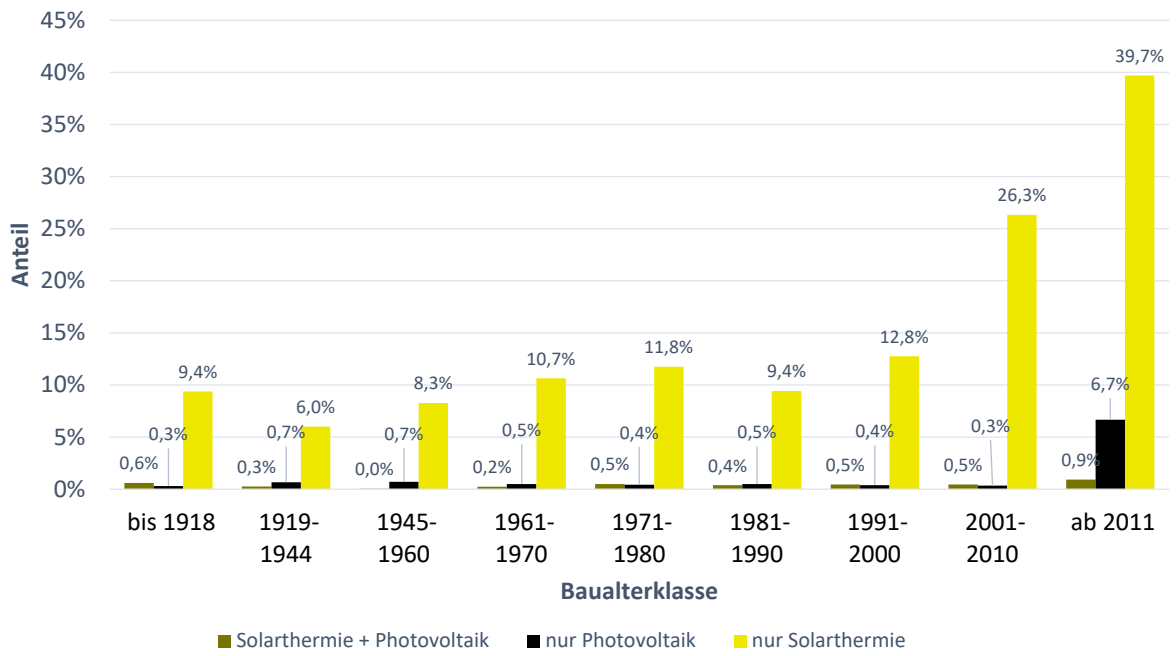


Abbildung 5.9: Anteil an Wohngebäuden mit entweder nur Solarthermie, nur PV oder sowohl Solarthermie als auch PV (letztgültige EA)

[Eigene Darstellung]

5.2.3 Endenergieenergiebedarf

Der mittlere Endenergiebedarf (EEB) von Wohngebäuden unterschiedlicher Baualtersklassen ist in Abbildung 5.10 ersichtlich. Es zeigt sich, dass der EEB bei jüngeren Gebäuden deutlich geringer ist, als bei älteren. Betrachtet wurden hierbei die letztgültigen Energieausweise für Bestand, Sanierungsfertigstellung und Neubaufertigstellung von Wohngebäuden (N = 11.314).

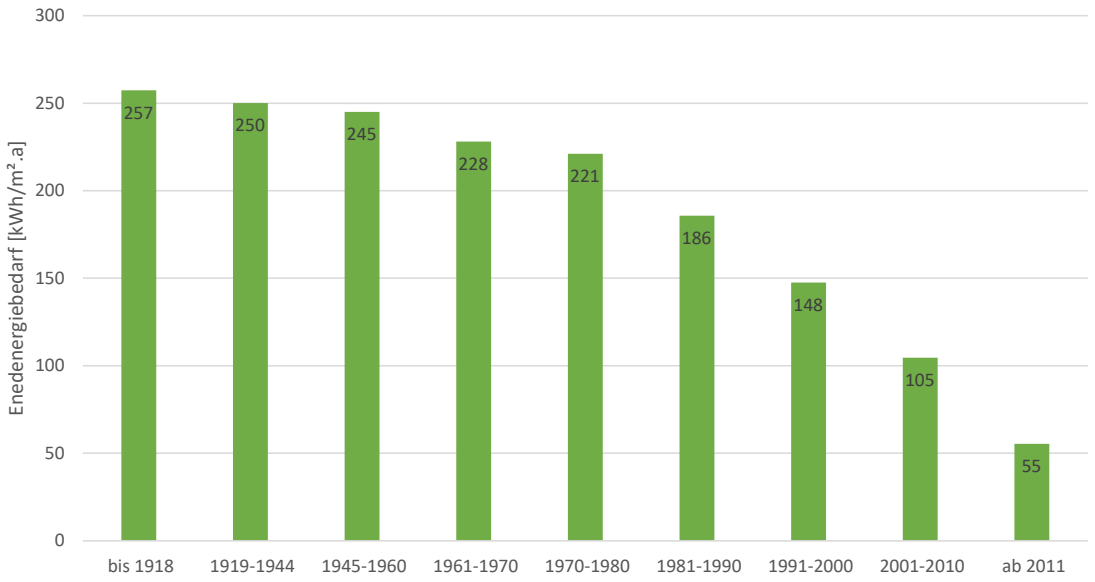


Abbildung 5.10: Endenergiebedarf (letztgültige EA)
[Eigene Darstellung]

5.2.4 Überblick der eingesetzten Energieträger im Bundesland Salzburg

In Abbildung 5.11 sind die eingesetzten Energieträger zugeordnet zu den Energieausweistypen Bestand, Neubaufertigstellung und Sanierungsfertigstellung dargestellt. Es zeigt sich hierbei, dass bei Wohngebäuden hauptsächlich Heizöl zur Bereitstellung der benötigten thermischen Energie eingesetzt wird. Insbesondere die hohe Anzahl beim unsanierten Bestand ist hierfür ausschlaggebend. Beim Neubau werden hingegen kaum Heizungen, welche mit Öl befeuert werden, eingesetzt. Beim Neubau stellen Strom, gefolgt von Biomasse und Fernwärme die wichtigsten Energieträger dar. Der hohe Anteil an Strom lässt sich auf den Einsatz von Wärmepumpen für die Bereitstellung der thermischen Energie zurückführen. 92 % der Heizungen mit dem Energieträger Strom dienen dem Betrieb einer Wärmepumpe, lediglich bei 8 % handelt es sich um eine Stromdirekt-Heizung.

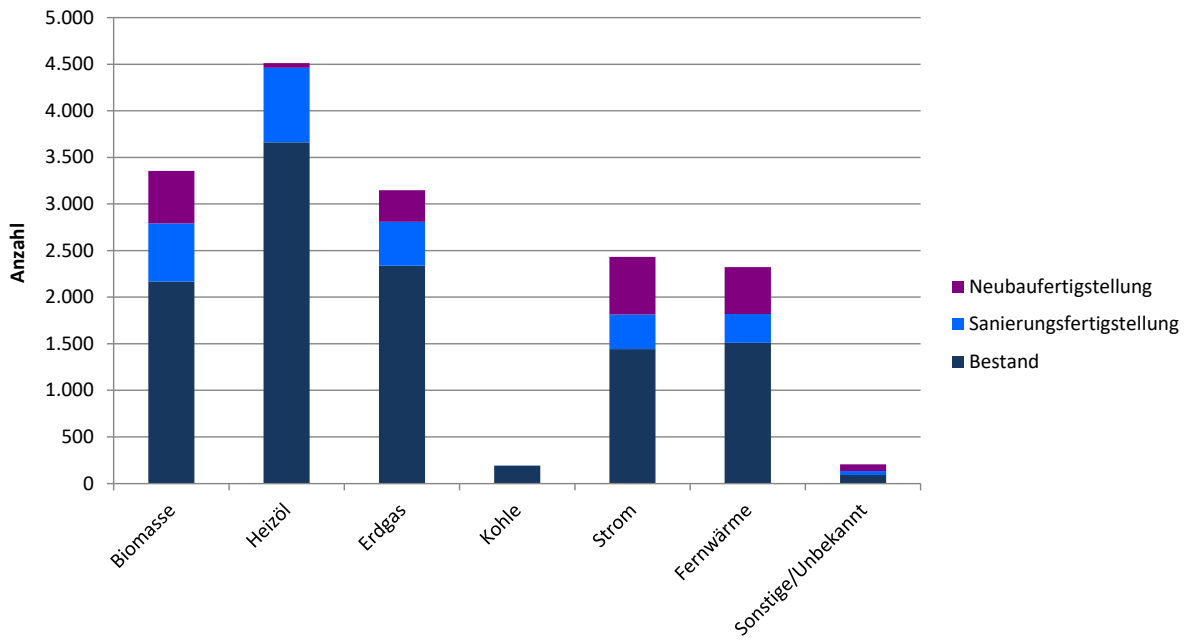


Abbildung 5.11: Eingesetzte Energieträger
[Eigene Darstellung]

Abbildung 5.12 zeigt einen Vergleich zwischen der Verteilung der eingesetzten Energieträger entsprechend der Auswertung der ZEUS-Datenbank (Bestand, Neubaufertigstellung und Sanierungsfertigstellung) für Wohnbauten und den Daten der Statistik Austria (Statistik Austria, 2013) für das Bundesland Salzburg.

Im Zusammenhang mit den Daten der Statistik Austria muss darauf hingewiesen werden, dass unbekannte Energieträger der Rubrik Fernwärme zugeordnet wurden. Um die Daten von ZEUS mit jenen der Statistik Austria besser vergleichen zu können, wurden sonstige und unbekannte

Energieträgen bei der Auswertung der Bestands-, Neubaufertigstellungs- und Sanierungsfertigstellungenergieausweise auch unter Fernwärme zugeordnet. Weiters sei darauf hingewiesen, dass es bei den Daten der Statistik Austria eine Rubrik für Solar und Wärmepumpe gab.

Der Vergleich in Abbildung 5.12 zeigt bei den Energieträgern Biomasse, Heizöl, Kohle und Strom eine Abweichung zwischen den Daten von ZEUS und jenen der Statistik Austria von wenigen Prozent. Lediglich beim Anteil von Erdgas und Fernwärme lassen sich erhebliche Unterschiede erkennen. Abweichungen zwischen den Daten der Statistik Austria und ZEUS können sich einerseits durch die Zuordnung der unbekannten Energieträger zu Fernwärme ergeben. Andererseits muss darauf hingewiesen werden, dass der Upload der Energieausweise in die ZEUS-Datenbank teilweise auf freiwilliger Basis erfolgt und dadurch nicht alle Energieausweise erfasst sind. Weiters ist noch erwähnenswert, dass es sich bei der Erhebung der Statistik Austria um eine Stichprobenerhebung handelt. Der Energieeinsatz der Haushalte wurde seitens der Statistik Austria als freiwilliges Zusatzfragemodul beigefügt zur Arbeitskräfteerhebung erhoben (Statistik Austria 2014), somit wurden direkt die Bewohner befragt. Im Gegensatz hierzu wird der Energieausweis von einem begrenzt dazu befugten Personenkreis erstellt.

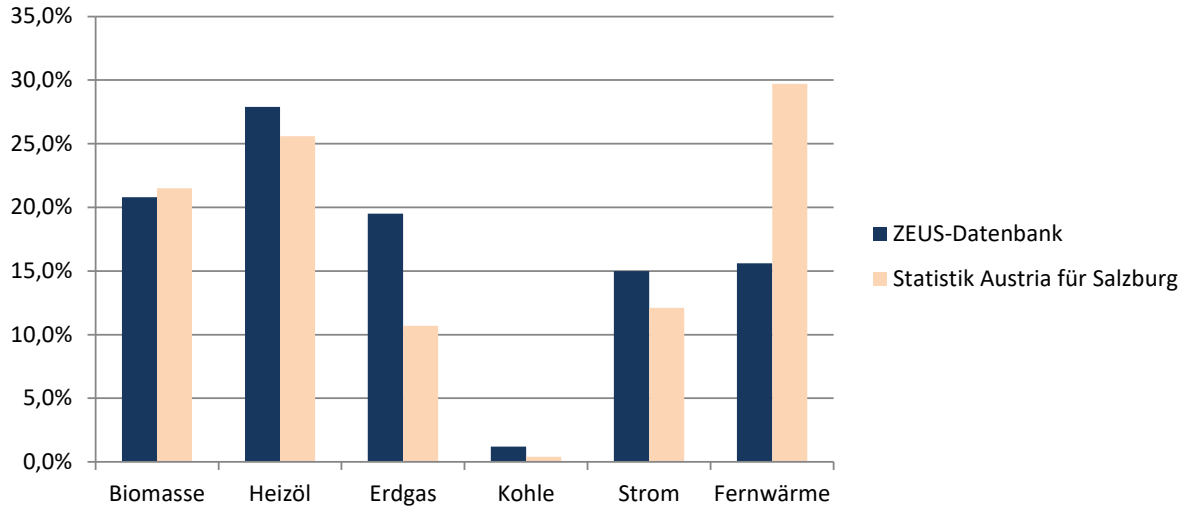


Abbildung 5.12: Vergleich der eingesetzten Energieträger nach Auswertung der ZEUS-Datenbank und nach Statistik Austria

[Eigene Darstellung]

5.2.5 Wärmeabgabesysteme

Wärmeabgabesysteme werden erst ab der XML-Version 3.1 der ZEUS-Datenbank erfasst. Dadurch reduziert sich die Datengrundlage auf 11.928 letztgültiger Bestand-, Sanierungsfertigstellungs- und Neubaufertigstellungsenergieausweise von Wohngebäuden, welche in diesem Zusammenhang analysiert werden können.

Beim Vergleich zwischen Bestands-, Neubaufertigstellungs- und Sanierungsfertigstellungs-Energieausweisen zeigt sich, dass Radiatoren insbesondere bei Bestand (82%) und Sanierung (78%) Verwendung finden. Im Gegensatz hierzu wir beim Neubau von Gebäuden vorzugsweise ein Flächenheizsystem eingesetzt (77 %). Sonstige Wärmeabgabesysteme haben sowohl beim Bestand, dem Neubau und der Sanierung eine geringe Bedeutung. In die Rubrik „Sonstige“ fallen insbesondere nicht wassergeführte Systeme, wie Elektroheizungen und Einzelöfen. Die Verteilung der unterschiedlichen Wärmeabgabesysteme ist in Abbildung 5.13 grafisch dargestellt.

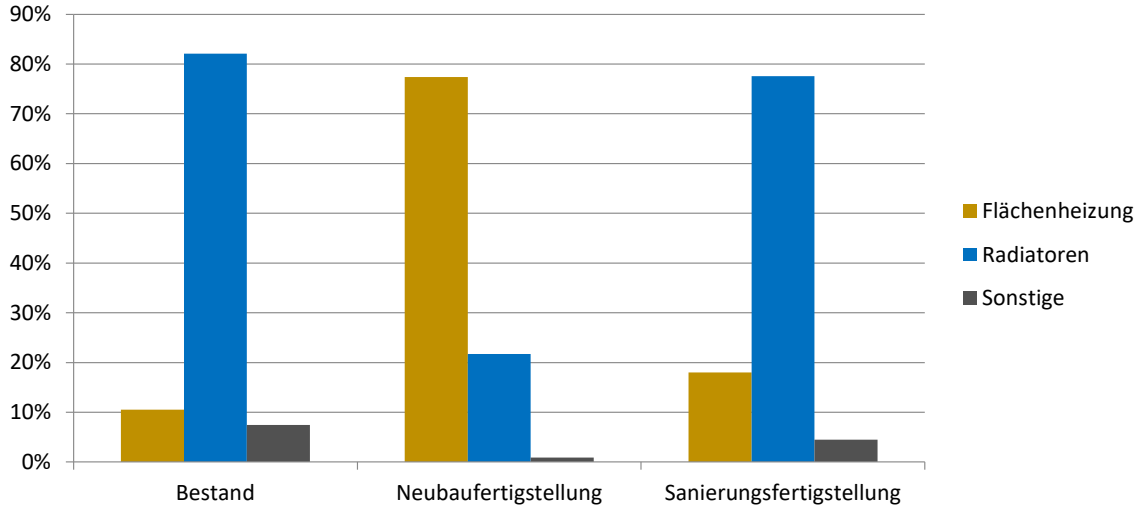


Abbildung 5.13: Eingesetzte Wärmeabgabesysteme bei Bestand, Neubau- und Sanierungsfertigstellung [Eigene Darstellung]

Abbildung 5.14 zeigt die Vor- und Rücklauftemperaturen für Radiator- und Flächenheizungen. Es zeigt sich, dass bei Heizung mittels Radiatoren hauptsächlich die Vorlauftemperatur bei 60°C bzw. 70°C und die Rücklauftemperatur bei 35 °C liegt.

Es sei hierbei darauf hingewiesen, dass bei der Eingabe des Energieausweises nur gewisse Wertepaare zur Auswahl zur Verfügung stehen. Folglich ist es durchaus möglich, dass die tatsächliche Vor- und Rücklauftemperatur im Heizungssystem, welche der Energieausweis zu erfassen sucht, nicht der Realität entsprechend angibt. Allerdings sei angemerkt, dass es sich bei den Temperaturpaarungen um typische Auslegungsfälle handelt.

Ein besonderer Augenmerkt ist auf die Wertepaarung 60/35 bei Flächenheizungen zu legen. Bei mehrgeschossigen Wohnbauten kommen im Zusammenhang mit Zweileiternetzen zwar höhere Systemtemperaturen zum Einsatz, allerdings dürfen diese laut der Richtlinie Energieeffizienz (2015) vom Land Salzburg lediglich mit Systemtemperaturen unter 55°C betrieben werden

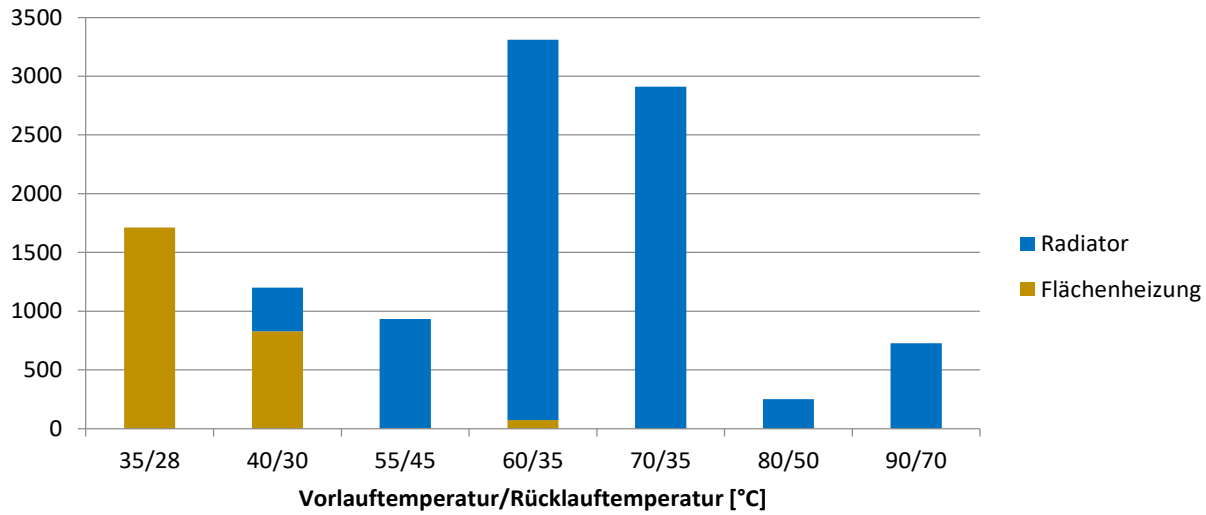


Abbildung 5.14: Systemtemperaturen bei Flächenheizung und Heizung mit Radiatoren [Eigene Darstellung]

5.2.6 Vergleich Zustand vor und nach der Sanierung

In diesem Kapitel wird ein Vergleich zwischen den Energieausweisen vor der Sanierung (=Bestand) und nach der Sanierung (=Sanierungsfertigstellung) gezogen. Betrachtet werden hierbei die Daten von Gebäuden, für welche es sowohl einen EA für Bestand und Sanierungsfertigstellung gibt.

Insgesamt gibt es von 2298 Gebäuden Energieausweise Vor- und nach einer Sanierung. Da davon 2230 Wohngebäude und lediglich 68 Nichtwohngebäuden sind, werden in Folge ausschließlich Auswertungen von Wohngebäuden dargestellt. Die Datengrundlage liegt dabei stets bei n = 4460 (2230 Bestand-EA und 2230 Sanierungsfertigstellung-EA).

5.2.6.1 Energieträger

Der am häufigsten eingesetzte Energieträger bei den betrachteten Datensätzen ist Heizöl, gefolgt von Biomasse. Dies gilt sowohl für den Bestand als auch nach der Sanierung (siehe Abbildung 5.15). Im Zuge der Sanierung hat sich der eingesetzte Energieträger bei 19 % der Wohngebäude geändert. Vielfach werden nach der Sanierung andere Energieträger anstatt Heizöl zur Erzeugung der thermischen Energie verwendet. Im Bestand wurden 42,1 % der Heizungsanlagen mit Heizöl betrieben, nach der Sanierung hat sich der Anteil auf 30,9 % reduziert, das entspricht einem Minus von 26,5 %. Der Anteil von Biomasse hat sich von 19,8 % auf 24,1 % erhöht, dass bedeutet eine Veränderung von Plus 24,3 %.

Neben Biomasse sind auch deutliche Zunahmen bei Fernwärme (+52,5 %) und Erdgas (+14,4 %) im Vergleich zur Ausgangslage zu erkennen. Eine Steigerung zeigt sich auch bei Strom (+11,8 %). Die Veränderung bei Strom ist auf den vermehrten Einsatz von Wärmepumpen zurückzuführen.

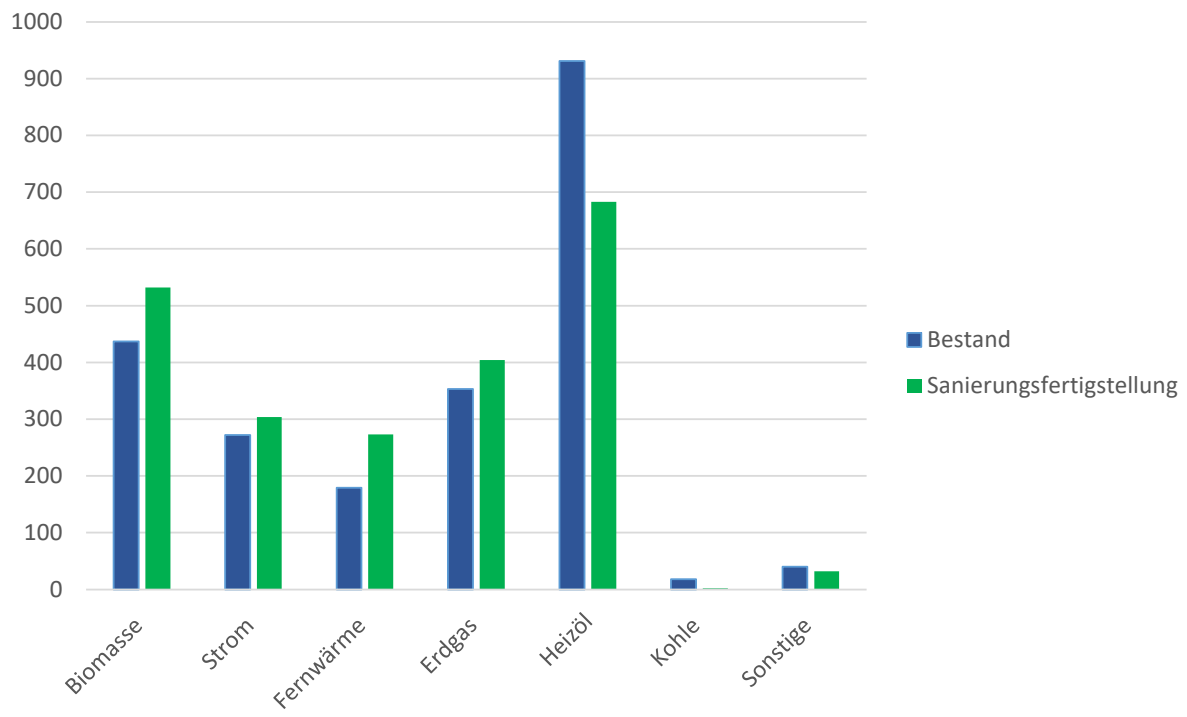


Abbildung 5.15: Eingesetzte Energieträger bei Bestand (links) und Sanierungsfertigstellung (rechts) [Eigene Darstellung]

Dass ausschließlich die vermehrte Integration von Wärmepumpen als Heizungsanlagen zur Steigerung des Einsatzes von Strom als Energieträger geführt hat, lässt sich von Abbildung 5.16 ableiten. Es zeigt sich hierbei, dass sich der Einsatz von Heizung mit Wärmepumpen um rund 357 % im Vergleich zur Ausgangslage erhöht hat. Die Verwendung von Stromdirekt-Heizungen hat sich um 22,6 % und der Einsatz von Nachtspeicherheizungen um 42,9 % reduziert.

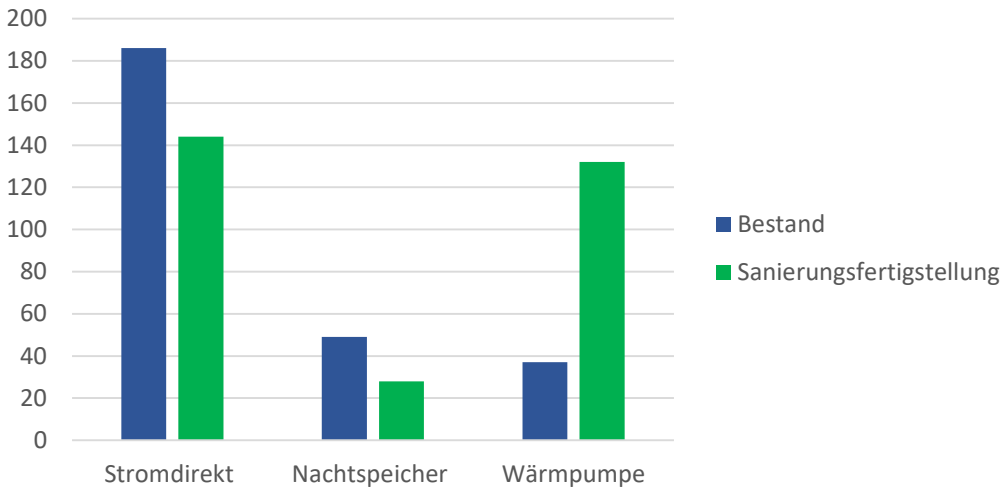


Abbildung 5.16: Heizungsanlagen zugeteilt zu Energieträger Strom bei Bestand und Sanierungsfertigstellung [Eigene Darstellung]

5.2.6.2 Wärmedurchgangskoeffizient

Im Zuge der Sanierung hat sich der mittlere Wärmedurchgangskoeffizient (mittlerer U-Wert) der Wohngebäude deutlich reduziert. Während der Median beim Bestand 0,82 W/(m².K) beträgt, liegt er nach der Sanierung bei 0,38 W/m².K. In Abbildung 5.17 ist der Vergleich des U-Wertes von Bestand und Sanierung mit Hilfe von Boxplots dargestellt.

Der untere Whisker (Antenne) des linken Boxplots zeigt den geringsten mittleren U-Wert der Bestandsgebäude, welcher 0,22 W/(m².K) beträgt. Der Beginn der Box kennzeichnet das untere Quartil und somit die Lage der 25% geringsten Werte. Ein Viertel der Wohngebäude wies vor der Sanierung einen mittleren U-Wert im Bereich von 0,262 W/(m².K) bis 0,64 W/(m².K) auf.

Der Strich innerhalb der Box zeigt die Lage des Median und das Ende der Box das obere Quartil, welches darauf hinweist, dass 75% der Wohngebäude vor der Sanierung einen U-Wert von höchstens 1,03 W/m²K hatten. Der maximale U-Wert betrug 2,81 W/m²K, wobei es sich hierbei um einen Ausreißer handelt (oberste sternförmige Darstellung beim Boxplot Bestand).

Das rechte Boxplot zeigt die U-Werte der Wohngebäude bei Sanierungsfertigstellung. Nach der Sanierung liegt der U-Wert im Bereich von 0,20 und 1,6 W/m²K. Ein Viertel der Datensätze liegt im Bereich 0,20 bis 0,31 W/m²K und drei Viertel im Bereich 0,20 bis 0,51 W/m².K. Der Median beträgt 0,38 W/m².K.

Während die Verteilung der mittleren U-Werte beim Bestand annähernd symmetrisch erscheint, zeigt sich bei der Sanierungsfertigstellung eine deutliche rechtsschiefe Verteilung. D.h. bei der Sanierungsfertigstellung fallen 50 % der Werte in ein kleines Intervall mit vergleichsweise niedrigen Werten.

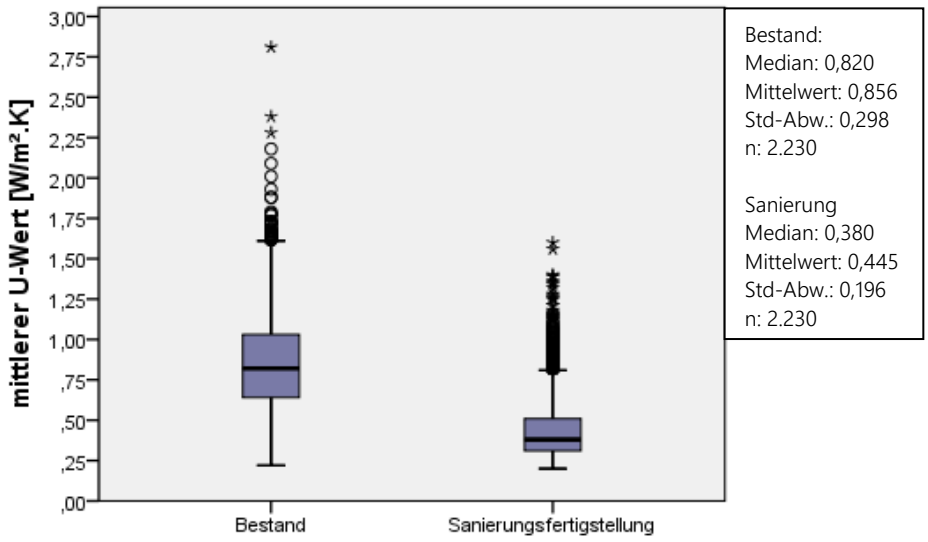


Abbildung 5.17: Vergleich des mittleren U-Werts zwischen Bestand und Sanierungsfertigstellung [Eigene Darstellung]

5.2.6.3 Heizwärmebedarf

Im Zusammenhang mit dem Heizwärmebedarf ist zwischen Standortklima und Referenzklima zu unterschieden. Im Rahmen des Vergleichs zwischen Bestand und Sanierung wird ausschließlich der Heizwärmebedarf Standortklima spezifisch (HWB_{SK}), also der HWB Standortklima bezogen auf 1 m² Bruttogrundfläche, betrachtet.

Der Vergleich zwischen den HWB_{SK} zwischen Bestand (links) und Sanierungsfertigstellung (rechts) ist in Abbildung 5.18 anhand von Histogrammen dargestellt.

Der HWB_{SK} ist in der x-Achse dargestellt, die y-Achse zeigt die Häufigkeit der Werte. Zum Zweck der besseren Darstellung sind nur Werte des HWB_{SK} im Bereich von 0 bis 425 kWh/m².a dargestellt. Dadurch sind vereinzelte höhere Werte, wie etwa das Maximum von 745,87 kWh/m².a beim Bestand, nicht ersichtlich. In die Berechnung des Medians, des Mittelwertes und der Standardabweichung fließen diese Werte sehr wohl ein.

Bei Betrachtung des Histogramms vom Bestand zeigt sich, dass der HWB_{SK} sehr weit gestreut ist und Großteils im Bereich zwischen 70 kWh/m².a und 240 kWh/m².a liegt. Nach der Sanierung hat sich der HWB_{SK} deutlich reduziert und befindet sich hauptsächlich im Bereich 40 kWh/m².a bis 90 kWh/m².a. Der Median des HWB_{SK} bei Bestand beträgt 158,10 kWh/m².a und nach der Sanierung 69,45 kWh/m².a.

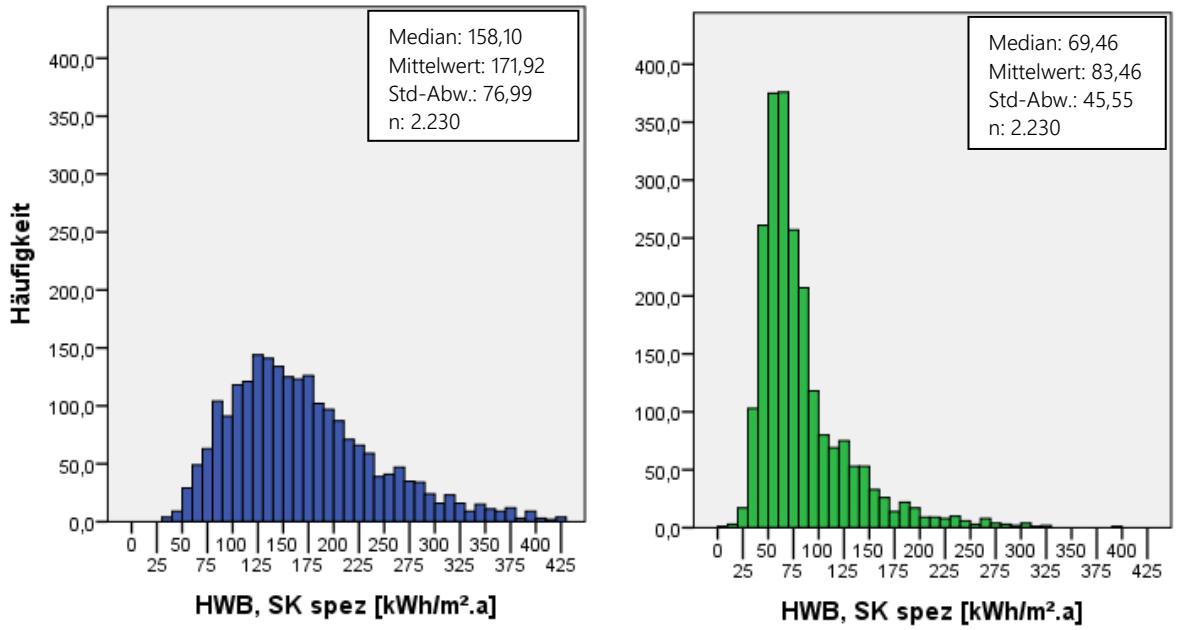


Abbildung 5.18: Vergleich des HWB_{SK} zwischen Bestand (links) und nach der Sanierung (rechts) [Eigene Darstellung]

Der Vergleich des HWB_{SK} bei Bestand (links) und der Sanierungsfertigstellung (rechts) von Wohngebäuden unterschiedlichen Baualters ist in Abbildung 5.19 dargestellt. Wohngebäude, welche im 21 Jahrhundert errichtet wurden und bereits saniert wurden, sind wegen ihrer geringen Anzahl hierbei nicht dargestellt. Weiters wurde die Skala auf 550 kWh/m².a begrenzt, dadurch sind vereinzelte hohe Ausreißer des HWB_{SK} beim Bestand nicht dargestellt.

Beim Bestand zeigt sich, dass es einen deutlichen Unterschied beim HWB_{SK} von Gebäuden unterschiedlichen Baualters gibt. Nach der Sanierung lässt sich erkennen, dass der Median des HWB_{SK} bei der Mehrheit der Baualtersklassen in ähnlicher Höhe liegt. Lediglich bei Gebäuden, die vor dem Jahr 1919 errichtet wurden, zeigt sich mit rund 80 kWh/m².a eine erkennbar höhere Lage des Median im Vergleich zu den anderen Altersklassen.

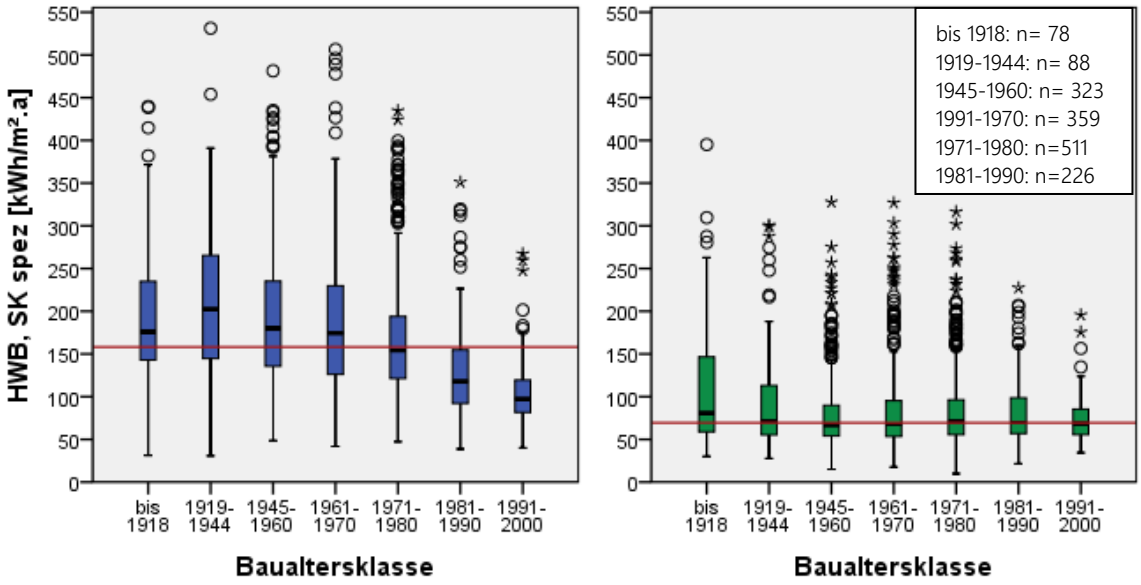


Abbildung 5.19: Vergleich des HWB_{SK} von Gebäuden unterschiedlicher Baualtersklassen zwischen Bestand (links) und nach der Sanierung (rechts)

[Eigene Darstellung]

In ähnlicher Weise wie beim Vergleich des Baualters der Gebäude im Zusammenhang mit dem HWB_{SK}, bei der Sanierung wird hier das Jahr der Sanierung betrachtet.

Abbildung 5.20 zeigt den erreichten HWB_{SK} nach der Sanierung in Abhängigkeit des Sanierungsjahres bei Wohngebäuden. Die rote Linie zeigt den Median des HWB_{SK} über sämtliche Sanierungsjahre und die einzelnen Boxplots den HWB_{SK} des jeweiligen Jahres, wann die Sanierung durchgeführt wurde.

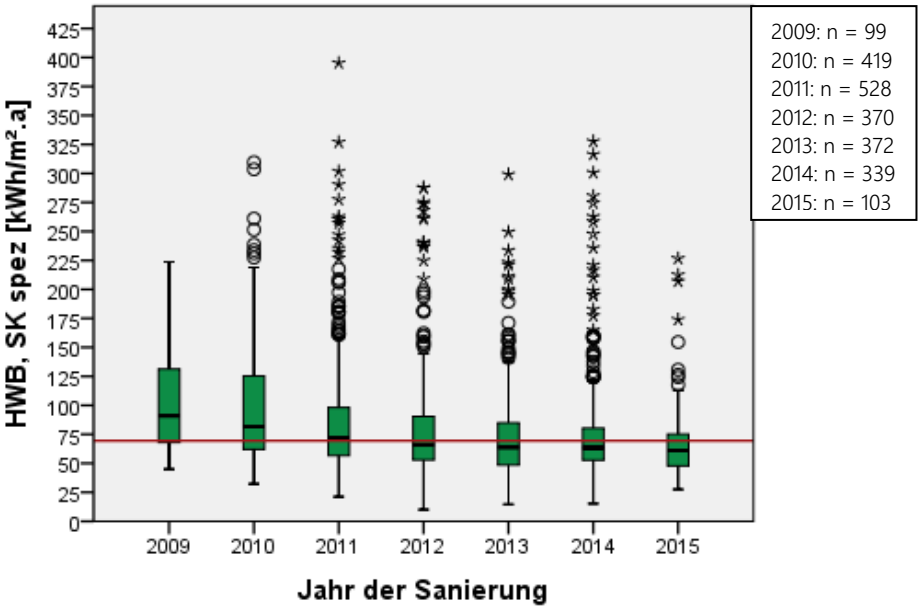


Abbildung 5.20: Vergleich des HWB_{SK} nach der Sanierung von Gebäuden in Abhängigkeit vom Sanierungsjahr [Eigene Darstellung]

5.3 Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch

5.3.1 Wohngebäude

Ziel dieser Aufgabenstellung war es den im Energieausweis (EA) ermittelten Bedarf von Wohngebäuden mit dem tatsächlichen Verbrauch zu vergleichen.

Die Verbrauchsdaten wurden der Energiebuchhaltung entnommen. Bei Betrachtung der Energiebuchhaltungsdaten zeigte sich, dass lediglich wenige Daten für einen Vergleich herangezogen werden konnten. Grundlegend waren hierfür folgende Umstände:

- Teilweise keine Einträge bei Zählern
- Nur wenige unregelmäßige Einträge
- Sehr oft: keine Einträge über einen längeren Zeitraum – nur ein paar Monate, aber kein Jahr
- Oftmals nur Zähler für Produktion (PV)
- Kein EA zum Vergleich

Es wurden alle Energiebuchhaltungseinträge betrachtet, unabhängig davon, ob eine Zeus-Nummer vorhanden ist. Wenn die Energiebuchhaltungseinträge bei einzelnen Objekten für eine Auswertung passend waren, wurde nach einem EA gesucht.

Von den 1101 Einträgen in der Energiebuchhaltung konnten lediglich 18 mit Jahresdaten ausgewertet werden. Die Gründe für das Ausscheiden von Daten sind in Tabelle 5.1 ersichtlich. Es können auch mehrere Kriterien für die Ausscheidung von Daten zugetroffen haben. Z.B. nicht relevanter Gebäudetyp und keine Jahresdaten. In diesem Fall ist nur „Gebäudetyp“ als Anmerkung erwähnt, da dieses Kriterium zuerst betrachtet wurde und bereits zu einer Ausscheidung geführt hat.

Tabelle 5.1: Anzahl an ausgeschiedenen und ausgewerteten Daten der Energiebuchhaltung
[Eigene Darstellung]

Anzahl	Anmerkung
1101	Gesamte Anzahl an Projekte in Energiebuchhaltung
107	Gebäudetyp
712	Nur Produktion
36	Keine Zähler
110	Keine Zählereinträge
106	Keine Jahresdaten
1	Nicht real „Projekt Max Mustermann“
1	Nur Planungsenergieausweis
2	Kein HEB – alter Energieausweis
2	Nur Stromzähler
4	Restliche passende Daten, allerdings ohne Energieausweis
2	Übersehene Datensätze
∑ 18	Ausgewertete Wohngebäude mit Jahresdaten

Es gibt 18 Datensätze mit Zähleraufzeichnungen von mehr als ein Jahr, bei welchen ein EA zum Vergleich vorhanden ist. 17 dieser Datensätze stammen vom MGWB und einer von einem EFH. Die MGWB-Daten wurden gemeinsam ausgewertet und das einzelne Einfamilienhaus separat betrachtet.

5.3.1.1 Mehrgeschossiger Wohnbau

Es sind nicht sämtliche für den Vergleich relevanten Verbrauchsdaten im Zeus-Export enthalten. In Folge wurden der Energieausweis und geq-Files für die Feststellung der Bedarfsdaten herangezogen.

Charakteristika der ausgewerteten Gebäude

Im Rahmen dieser Auswertung wurden folgende Verbrauchsdaten betrachtet:

- Ein Datensatz mit Einträgen des Warmwasserzählers
- 6 Datensätze mit Einträgen der Raumheizungs- und Warmwasserzähler
- 10 Datensätze mit Einträgen der Raumheizungszähler

Die Wärmebereitstellung erfolgt mit einer Ausnahme bei den betrachteten Bauten über Fernwärme. Bei dieser Ausnahme finden sich in der Energiebuchhaltung ein Fernwärmezähler und der Eintrag „Fernwärme“ als Energieträger. Im Energieausweis und im geq-File ist allerdings für diese ID Heizöl als Energieträger und „Flüssiger oder gasförmiger Brennstoff“ als Bereitstellungssystem eingetragen. Das Heizungssystem ist sowohl im Bestand-, Planungs- und Sanierungsfertigstellungsausweis dasselbe. Die Warmwasseraufbereitung erfolgt entweder dezentral (elektrisch) oder es wird zentral Fernwärme zur WW-Bereitung eingesetzt.

Mit einer Ausnahme handelt es sich bei den verglichenen EA stets um Bestands-EA. Lediglich bei dem einen Objekt gibt es im geq-File sowohl einen Bestand-EA, zwei Planungs-EA und einen Fertigstellungs-EA. Für den Vergleich wurde der Sanierungsfertigstellungs-EA herangezogen.

Raumheizung

16 der 17 ausgewerteten Datensätze weisen einen Zähler für die Raumheizung auf. Der Bedarf- und Verbrauch-Vergleich der Raumheizung ist für die entsprechenden Gebäude in Tabelle 5.2 dargestellt..

Tabelle 5.2: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch von Raumheizung
[Eigene Darstellung]

Nr.	Bedarf HEB_{RH} [kWh/a]	Verbrauch (HGT bereinigt) [kWh/a]	Bedarf HEB_{RH} [kWh/m²a]	Verbrauch (HGT bereinigt) [kWh/m²a]	Abweichung Verbrauch von Bedarf
1	102.543	85.493	148	124	-17%
2	99.351	90.295	144	130	-9%
3	82.005	72.153	119	105	-12%
4	144.681	144.387	96	96	-0%
5	143.046	146.959	95	98	+3%
6	129.823	85.939	120	80	-34%
7	211.145	209.933	80	79	-1%
8	141.637	317.944	53	118	+124%
9	139.368	310.476	52	115	+123%
10	218.308	235.098	83	89	+8%
11	282.531	354.761	83	104	+26%
12	287.056	354.511	82	101	+23%
13	155.884	286.372	84	154	+84%
14	281.563	293.111	105	110	+4%

15	442.398	710.025	132	212	+60%
16	288.278	285.643	106	105	-1%

Verglichen wurde der HEB_{RH} vom Energieausweis mit Verbrauchsdaten vom Zähler der Energiebuchhaltung. Der Vergleich bezieht sich auf Jahresdaten. Die Verbrauchsdaten wurden über die Heizgradtage (HGT) bereinigt, d.h. es wurde berücksichtigt wie das Klima im Jahr der Zähleraufzeichnungen war. Bei einigen Zählern wurde angenommen, dass es sich dabei um MWh anstatt um in der Energiebuchhaltung angegebene kWh handelt. Lässt man Nr. 8 und 9 außer Acht (hohe Ausreißer mit +124% bzw. +123%), ist der HGT-bereinigte Verbrauch im Mittel um 10% höher als der Bedarf.

Abbildung 5.21 zeigt den Vergleich zwischen Bedarf in kWh zum Verbrauch (HGT-bereinigt) in kWh für die Raumheizung. Sämtliche Punkte unterhalb der grauen Linien, weißen darauf hin, dass bei den zugehörigen Objekten mehr Energie für die Raumheizung verbraucht wurde als im EA ermittelt. Bei den Punkten oberhalb der grauen Linie wurde hingegen weniger Energie verbraucht als ermittelt.

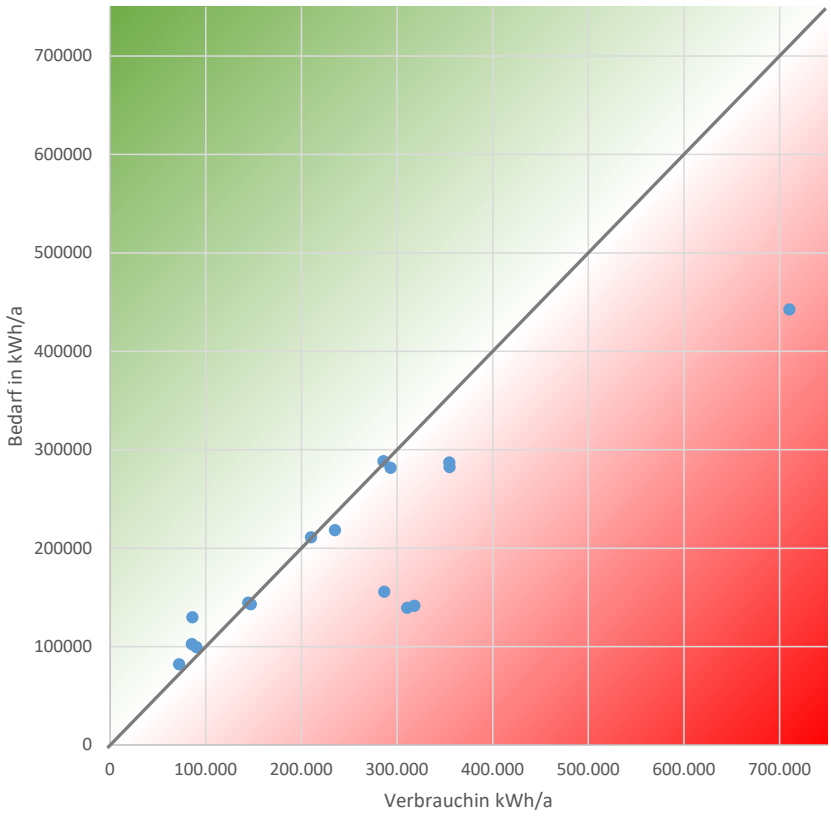


Abbildung 5.21: Vergleich zwischen Bedarf und HGT-bereinigten Verbrauch für Raumheizung [Eigene Darstellung]

Abbildung 5.22 zeigt den Vergleich zwischen spezifischem Bedarf in kWh/m²a zum Verbrauch (HGT-bereinigt) in kWh/m²a. Sämtliche Punkte unterhalb der grauen Linien weisen darauf hin, dass bei den zugehörigen Objekten mehr Energie für die Raumheizung verbraucht wurde als im EA ermittelt. Verglichen wurde dabei der HEB_{RH} vom Energieausweis mit Verbrauchsdaten vom Zähler der Energiebuchhaltung. Der Vergleich bezieht sich auf Jahresdaten.

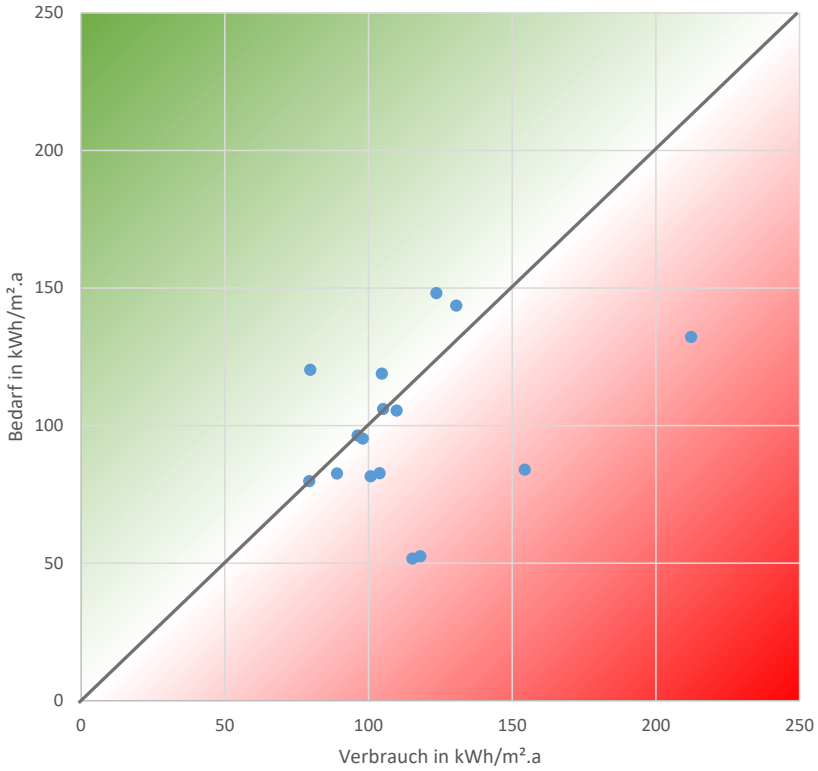


Abbildung 5.22: Vergleich zwischen spezifischen Bedarf und spezifischen HGT-bereinigten Verbrauch für Raumheizung [Eigene Darstellung]

Warmwasser

In der Energiebuchhaltung wurde der Verbrauch an Warmwasser in kWh angegeben. Allerdings wird der Verbrauch bei den betrachteten Objekten tatsächlich in m³ ermittelt. Die benötigte Energie [kWh] zur Bereitstellung des verbrauchen m³ Warmwasser wurde mit Hilfe der Masse m [kg], der spezifischen Wärmekapazität cp [kJ/(kg.K)] und der Temperaturdifferenz ΔT [K] entsprechend Gleichung 3.1 berechnet:

$Q_{WW} = m \times cp \times \Delta T$	Gleichung 3.1

Es wurde dabei ein Temperaturunterschied von 50 K angenommen, das entspricht dem Erwärmen von Wasser von 10 °C auf 60 °C.

Warmwasser-Zähler sind dem Anschein nach bei jeder Wohneinheit angebracht und der Zählerstand entspricht in der Energiebuchhaltung der Summe der Verbräuche der einzelnen Wohneinheiten. Diese Annahme begründet sich daraus, dass bei unterschiedlichen Objekten bereits die Verteilverluste den Warmwasserverbrauch um ein Mehrfaches übersteigen. In Folge wurde der Warmwasserwärmebedarf (WWWB) mit dem ermittelten Verbrauch verglichen. Die Ergebnisse dieses Vergleiches sind in Tabelle 5.3 ersichtlich.

Tabelle 5.3: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch für Warmwasser
[Eigene Darstellung]

Nr.	Bedarf WWWB [kWh/a]	Verbrauch Q_{ww} [kWh/a]	Bedarf WWWB [kWh/m²a]	Verbrauch Q_{ww} [kWh/m²a]	Abweichung Verbrauch von Bedarf
1	34.429	38.932	12,8	14,4	+13%
2	34.429	38.758	12,8	14,4	+13%
3	34.429	25.955	12,8	9,6	-25%
4	33.751	36.895	12,8	14,0	+9%
5	43.650	65.993	12,8	19,3	+51%
6	44.961	60.231	12,8	17,1	+34%
7	23.714	27.351	12,8	14,7	+15%

Im Durchschnitt liegt der Verbrauch um 16 % höher als der Bedarf laut Energieausweis. Die Wärmebereitstellung erfolgt mit Fernwärme zentral bei den betrachteten Anlagen.

In Tabelle 5.4 ist ein weiterer Vergleich des ermittelten Verbrauchs mit den Bedarfswerten ersichtlich. Hierbei wurde der Bedarf als Summe von WWWB und den Verlusten der Wärmeabgabe angenommen. Verluste der Zuleitungen zu den einzelnen Warmwasserabgabestellen, welche nach dem Warmwasserzähler vorhanden sein dürften, wurden nicht berücksichtigt. Die Verluste der Wärmeabgabe werden durch Verluste bei Armaturen, der Art der Wärmeverbrauchsermittlung (pauschale- oder individuelle Abrechnung), die BGF, Fixwerte, und gebäudespezifische Konstanten berechnet. Bei GEQ ist lediglich die Auswahl einer Armaturenart für das gesamte Gebäude möglich, die Standardauswahl ist eine Zweigriffarmatur mit dem ungünstigsten Wert. Begründet durch die eingeschränkte Auswahlmöglichkeit wird angenommen, dass diese Abgabeverluste vielfach nicht an das Gebäude angepasst sind und der Verlustwert tendenziell zu hoch ist.

Tabelle 5.4: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch für Warmwasser [Eigene Darstellung]

Nr.	Bedarf WWWB+ Abgabeverluste WW [kWh/a]	Verbrauch Q_{ww} [kWh/a]	Bedarf WWWB + Abgabeverluste WW [kWh/m²a]	Verbrauch Q_{ww} [kWh/m²a]	Abweichung Verbrauch von Bedarf
1	35.997	38.932	13,4	14,4	+8%
2	35.997	38.758	13,4	14,4	+8%
3	35.997	25.955	13,4	9,6	-28%
4	35.288	36.895	13,4	14,0	+5%
5	45.637	65.993	13,4	19,3	+45%
6	47.008	60.231	13,4	17,1	+28%
7	24.794	27.351	13,4	14,7	+10%

Abbildung 5.23 zeigt den Vergleich zwischen Warmwasser-Bedarf in kWh zum Warmwasser-Verbrauch in kWh. Sämtliche Punkte unterhalb der grauen Linien, weißen darauf hin, dass bei den zugehörigen Objekten mehr Energie für Warmwasser verbraucht wurde, als Bedarf im EA ermittelt wurde. Bei den Objekten oberhalb der grauen Linie wurde hingegen weniger verbraucht

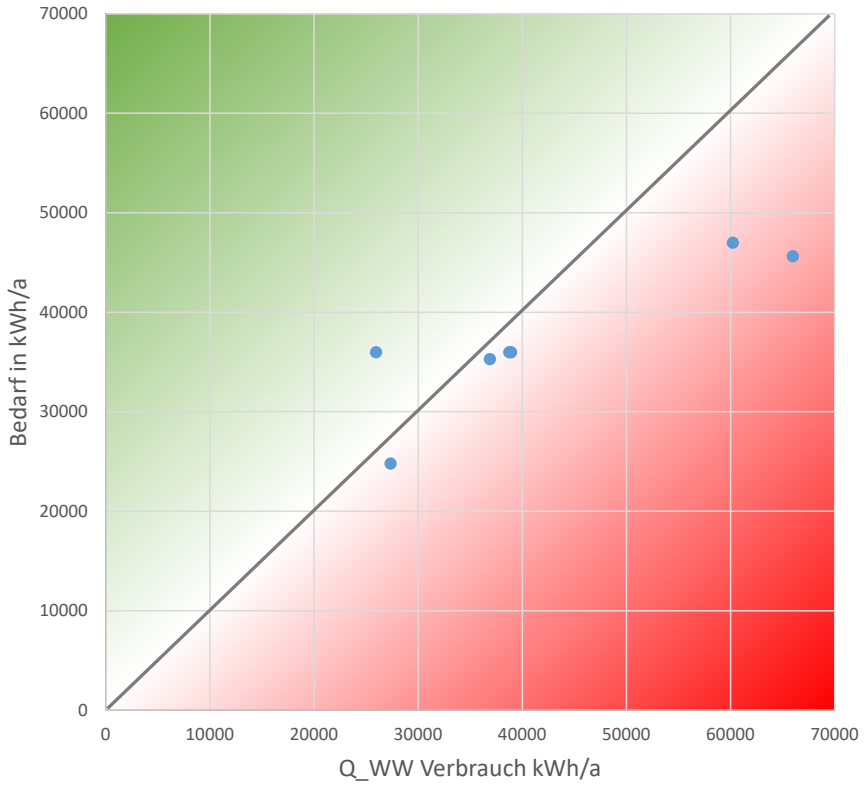


Abbildung 5.23: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch für Warmwasser, [Eigene Darstellung]

Abbildung 5.24 zeigt den Vergleich zwischen den spezifischen Warmwasser-Bedarf in kWh/m².a zum spezifischen Warmwasser-Verbrauch in kWh/m².a. Sämtliche Punkte unterhalb der grauen Linien, weisen darauf hin, dass bei den zugehörigen Objekten mehr Energie für Warmwasser verbraucht wurde, als im EA ermittelt. Bei den Objekten oberhalb der grauen Linie wurde hingegen weniger verbraucht.

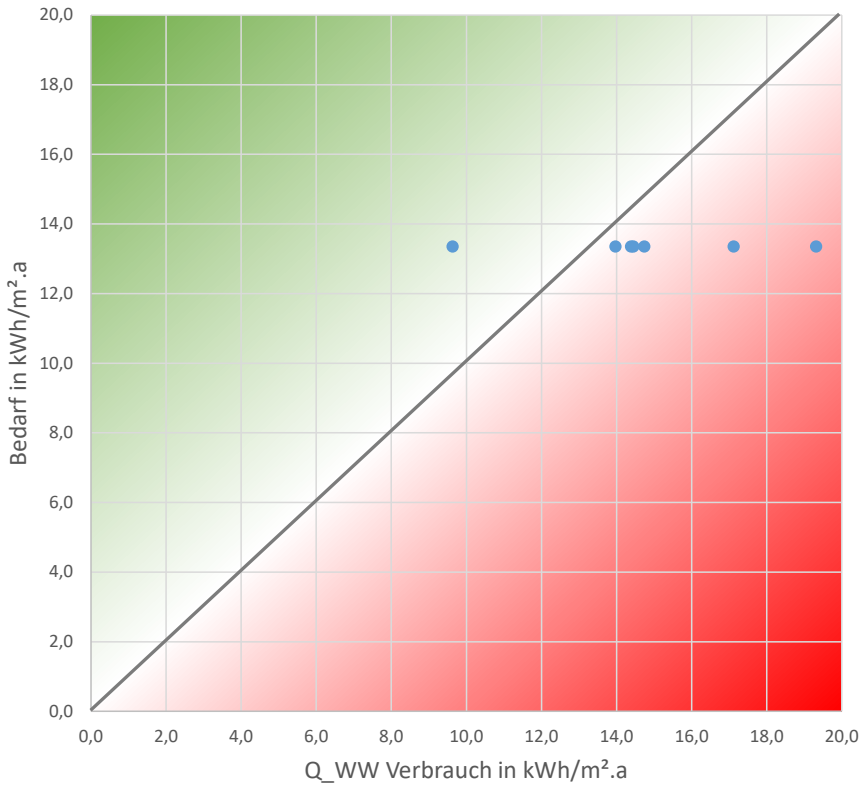


Abbildung 5.24: Vergleich zwischen spezifischen Bedarf und spezifischen Verbrauch für Warmwasser [Eigene Darstellung]

Letztlich kommt es nur auf das Nutzungsverhalten an.

Ersichtlich ist das beim Vergleich zweier Gebäude, unter der Annahme, dass die Zähler in selbiger Weise bei beiden Gebäuden angeordnet sind. Die BGF der beiden verglichenen Gebäude ist nach dem EA ident, die Anzahl an Bewohner ist unbekannt. Das erste Gebäude weist einen Verbrach an WW von 669 m³ und das zweite von 446 m³. Demzufolge entspricht der Warmwasserverbrauch im ersten Gebäude exakt dem 1,5-fachen des zweiten Gebäudes.

Anmerkungen zur Auswertung (Übersicht zu verwendeten Variablen, getroffenen Annahmen, etc.) finden sich im Anhang.

5.3.1.2 Einfamilienhaus

Beim Einfamilienhaus sowie beim Nichtwohngebäude war es Ziel ein Gebäude exemplarisch auszuwerten. Folglich wurden Gebäude mit einer guten Datengrundlage bei der Energiebuchhaltung ausgewählt, für welche auch ein Energieausweis vorhanden ist. Als gute Datenqualität werden Zähleraufzeichnungen von zumindest einem Jahr angesehen, bevorzugt mit mehreren Zählern. Zum Teil musste allerdings auch auf Zähleraufzeichnungen, welche ein Jahr unterschreiten zurückgegriffen werden.

Bei der Untersuchung wurden zwei unterschiedliche Einfamilienhäuser betrachtet. Beim ersten handelt es sich um ein Gebäude, welches im Jahr 2011 saniert wurde. Das zweite EFH wurde im Jahr 2012 errichtet.

Saniertes Einfamilienhaus

- 1 x Sanierungsfertigstellung (Zweck: WBF)
- 3 x Sanierungsplanung (Zweck: WBF, Sanierungsscheck, Archiv)
- 3 x Bestand (Zweck: WBF, Sanierungsscheck, Archiv)
- Gebäudetyp: Einfamilienhaus
- Baujahr: 1966
- BGF: 226 m²

Es gibt für dieselbe Objekt-ID drei Bestandsenergieausweise. Ein Vergleich der drei Bestandsenergieausweise ist in Tabelle 1 ersichtlich. Es zeigt sich dabei, dass sich die EA zum Teil unterscheiden. Der Bestandenergieausweis mit dem Zweck Archiv ist der einzige der drei Bestand-EA, welcher bereits in der XML-Version 3.1 erstellt wurde, die anderen beiden in XML 2. In Folge wird der Bestand-EA mit der XML 3.1 für den Vergleich zur Sanierungsfertigstellung herangezogen.

Tabelle 5.5: Vergleich der drei Bestandsenergieausweise (Variablen mit unterschiedlichen Werten dargestellt) [Eigene Darstellung]

	Bestand-EA Nr.1	Bestand-EA Nr.2	Bestand-EA Nr.3
Statusdatum	07.03.2011	27.09.2010	08.10.2010
XML	3.1	2	2
Nutzungszone	EFH	MFH	MFH
Nutzungseinheiten im EA	1	2	2
Heizungstyp	Standardkessel	Unbekannt_V2	Unbekannt_V2
Solaranlage Typ	-	Unbekannt_V2	Unbekannt_V2
HWB_{SK}.	202,47 kWh/m².a	203,95 kWh/m².a	202,60 kWh/m².a
Gebäudeheizlast	18,18 kW	18,29 kW	18,19 kW
Mittlerer U-Wert	0,95 W/(m²K)	0,96 W/(m².K)	0,95 W/(m².K)
Nutzfläche	172,8 m²	218 m²	218 m²

Charakteristika für das Einfamilienhaus vor und nach der Sanierung sind in Tabelle 4.6 ersichtlich. Es zeigt sich dabei, dass sowohl eine thermische Sanierung als auch eine Veränderung der Haustechnik stattgefunden hat. Der mittlere U-Wert ist von 0,95 W/m²K auf 0,29 W/m²K gesunken und der HWB Standortklima spezifisch hat sich im Zuge der Sanierung von 202,5 kWh/m².a auf 53,5 kWh/m².a reduziert. Das Heizungssystem hat sich dahingehend verändert, das eine 15 m² große solarthermische Anlage integriert und das Speichervolumen erhöht wurde. Entsprechend des Ausstellungsdatums vom Sanierungsfertigstellungsenergieausweis hat die Sanierung im Jahr 2011 stattgefunden.

Tabelle 5.6: Vergleich ausgewällter Daten zwischen Bestand und Sanierungsfertigstellung
[Eigene Darstellung]

	Bestand	Sanierungsfertigstellung
• Einreichzweck:	Archiv	WBF
• Ausstellungsdatum:	20.09.2010	07.12.2011
• Statusdatum:	-	20.02.2012
• Mittlerer U-Wert:	0,95 W/(m².)K	0,29 W/(m².K)
• HWB_{SK}:	202,5 kWh/m².a	53,5 kWh/m².a
• HEB:	352,2 kWh/m².a	66,4 kWh/m².a
• CO_2:	92,5 kg/m².a	17,8 kg/m².a
• Energieträger:	Gas	Gas
• Nennwärmeleistung:	22,92 kW	11 kW
• Warmwasserbereitung:	Stromboiler	kombiniert m. RH
• Thermische Solaranlage:	Keine thermische Solaranlage	15 m²
• Speicher:	300 l	1600 l

Der Erfassung des Gasverbrauches erfolgt in der Energiebuchhaltung in m³. Der Gasverbrauch muss zum Zweck des Vergleiches mit den EA-Daten in kWh umgerechnet werden. Die Umrechnung in kWh erfolgte nach E-Control (2014) mit Hilfe der Gleichungen 3.2 bis 3.5

$$W[kWh] = V_n[Nm^3] \cdot H_s\left[kWh/Nm^3\right] \qquad 3.2$$

W Energieverbrauch [kWh]
V_n Betriebsvolumen [Nm³]
H_s Verrechnungsbrennwert [kWh/Nm³]

$V_n = V \cdot z$	3.3

V_n Normvolumen [m³]
V Betriebsvolumen [m³]
Z Zustandszahl [-]

$z = \frac{T_n}{T} \cdot \frac{p_{amb} + p}{p_n}$	3.4

z Zustandszahl [-]
c Normtemperatur [K]
T Gastemperatur (Innenmessung oder Außenmessung) [K]
p_{amb} Luftdruck [mbar]
p Betriebsdruck [mbar]
p_n Normdruck [mbar]

$p_{amb} = 1016 - 0{,}12 \cdot H(mbar)$	3.5

H mittlere geodätische Höhe der Höhenzone [m]

Salzburg gehört dem Marktgebiet Ost (MG-Ost) an, der hier gültige Verrechnungsbrennwert ist 11,24 kWh/Nm³. Die Normtemperatur beträgt 273,15 K und der Normdruck 1013,25 mbar. Der Betriebsdruck beträgt bei Haushaltskunden üblicherweise 22 mbar. Im Zusammenhang mit der Gastemperatur ist bei Zählern ohne Temperaturkorrektur zu unterscheiden, ob der Zähler innen (288,15 K) oder außen (279,15 K) positioniert ist. Die Höhenzonen entsprechen eine vom Netzbetreiber festgelegten Unterteilung des Versorgungsgebietes. Je eingeteilter Höhenzonen ergibt sich eine mittlere geodätische Höhe [E-Control 2014].

Für Salzburg konnten keine Daten zur Einteilung des Versorgungsgebietes gefunden und in Folge keine geodätische Höhe festgestellt werden. Es wurde in Folge auf die Daten der EVN zurückgegriffen. Nach der EVN (o.J.) reicht die Höhenzone 2 von 301 m bis 500 m, die mittlere geodätische Höhe beträgt dabei 400 m. Das betrachtete Einfamilienhaus befindet sich laut EA auf 424 m Seehöhe und wäre entsprechend der Einteilung der EVN einer geodätischen Höhe von 400 zuzuordnen.

Die berechnete Zustandszahl (z) bei einer Außenmontage des Zählers beträgt 0,9561 und bei einer Innenmontage 0,9262. Die Lage des Zählers ist nicht bekannt. Es wurde pauschal angenommen, dass es sich um eine Außenmontage des Gaszählers handelt. Diese Annahme wurde getroffen um eine doppelte Darstellung von ähnlichen Ergebnisse (einmal mit z = 0,9561 und ein anderes Mal mit z = 0,9262 berechnet) zu vermeiden.

Abbildung 5.25 zeigt den Vergleich zwischen Bedarf in kWh zum Verbrauch (nicht HGT-bereinigt) in kWh. Sämtliche Punkte unterhalb der grauen Linien, weisen darauf hin, dass bei den zugehörigen Objekten mehr Energie für die Raumheizung verbraucht wurde als im EA ermittelt wurde. Bei den Punkten oberhalb der orangen Linie wurde hingegen weniger Energie verbraucht als ermittelt wurde. Bei den Punkten in der Farbe braun handelt es sich um Werte vor der Sanierung und bei grün nach der Sanierung. Das Jahr 2011 in welches die Sanierung des EFH stattgefunden hat ist gelb dargestellt.

Der durchwegs höhere Bedarf im Vergleich zum Verbrauch vor der Sanierung lässt annehmen, dass der Bestand-EA das Gebäude zu schlecht bewertet hat. Ein Beispiel für eine zu schlechte Bewertung wäre, dass die Leitungen als nicht gedämmt im EA dargestellt sind. Nach herrschender Ansicht sollten allerdings im Unterputz verlegte Leitungen als 2/3 gedämmt im EA erfasst werden. Dass die Leitungen der Haustechnik tatsächlich vor der Sanierung unterputz geführt worden sind, kann mit den verfügbaren Daten zwar nicht sichergestellt werden, allerdings ist diese Annahme begründet, da diese die übliche Form der Leitungsführung auch in den 60er Jahren war. Verstärkt wird diese Annahme durch die Verteilverluste von ca. 4000 bis 6000 kWh/Monat in den Sommermonaten bei gleichzeitigem Verbrauch kleiner 500 kWh/Monat.

Nach der Sanierung stimmt der Verbrauch mit dem Bedarf deutlich besser überein. Es wird angenommen, dass sich das Nutzerverhalten an die neuen Gegebenheiten zwar angepasst hat, aber nicht grundlegend verändert wurde. Das würde wiederum indizieren, dass der Bestand-EA das Gebäude zu schlecht bewertet hat.

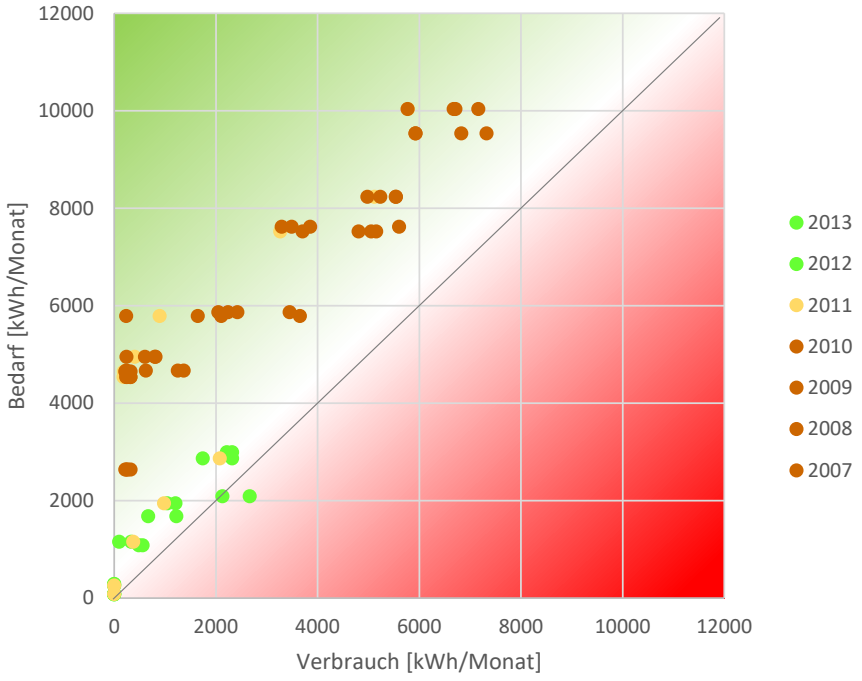


Abbildung 5.25: Vergleich Bedarf und Verbrauch (Endenergie) eines EFH in Monatswertwerten [Eigene Darstellung]

In der OIB Richtlinie 6 aus dem Jahr 2011 ist der Haushaltsstrombedarf (HHSB) angegeben. Für das betrachtete Wohngebäude wäre 50 % der inneren Wärmegewinne infolge von Personen und Geräten ($q_{i,h}$) unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer anzusetzen. $Q_{i,h,n}$ beträgt nach der Önorm B 8110-5 für Ein- und Mehrfamilienhäuser 3,75 W/m². Dadurch ergibt sich für die BGF von 226 m² ein HHSB von 3.712 kWh/a.

Abbildung 5.26 zeigt die Entwicklung des Strombedarfes des EFH innerhalb der Jahre 2007 bis 2013. Es zeigt sich dabei, dass der Stromverbrauch von 2007 sowohl beim Zähler des EG als auch beim Zähler des OG gesunken ist. Ab 2011 gibt es keine Einträge beim Zähler des OG mehr. Die Linie im Diagramm entspricht dem HHSB. Somit lag der Stromverbrauch durchwegs über dem HHSB von 3712 kWh/a.

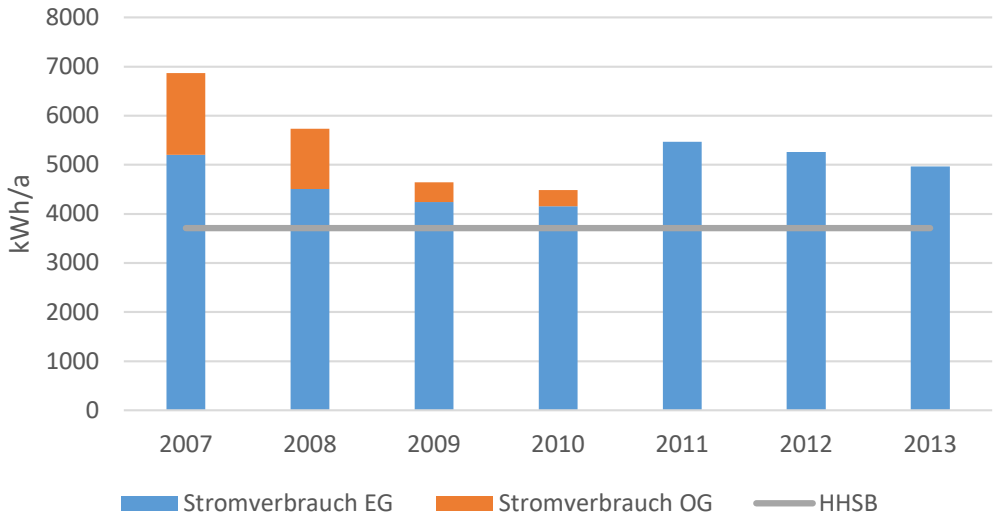


Abbildung 5.26: Jährlicher Vergleich Stromverbrauch mit dem Haushaltsstrombedarf
[Eigene Darstellung]

In Tabelle 4 ist der Primärenergiebedarf des EFH für die Jahre 2007 bis 2013 dargestellt. Vor der Sanierung wurde das Warmwasser mit Hilfe von Strom aufbereitet und für die Raumheizung Gas eingesetzt. Nach der Sanierung erfolgte die WW-Bereitung kombiniert mit der Raumheizung mit dem Energieträger Gas. Es zeigte sich, dass im Obergeschoss sowohl der Strombedarf für WW-Bereitung als auch der Stromverbrauch für andere Zwecke von 2007 bis 2010 gesunken ist. Es wurde in Folge angenommen, dass sich die Zahl an Bewohner des EFH reduziert hat und dadurch der Wert des WW-Verbrauches von 2010 als Rechenwert für die Jahre 2011 bis 2013 angesetzt. Im Jahr 2011 wurde angenommen, dass die WW-Bereitung bis 01.08. mit Strom erfolgte. Grundlegend für diese Annahme war, der letzte Zählereintrag für die Stromzähler für WW am 1. August 2011 stattgefunden hat. Die Abmeldung der Stromzähler für WW erfolgte am 12.09.2011. Im Zuge

der Sanierung wurde eine solarthermische Anlage in das Heizsystem integriert. Es wurde angenommen, dass die Warmwasserbereitung nach der Sanierung durch die Solaranlage erfolgt. Dadurch ergibt sich ein Wert von Null für die Jahre 2012 und 2013.

Die Konversionsfaktoren f_{PE} für die Berechnung der Primärenergie wurden aus der OIB-Richtlinie 6, Ausgabe 2011 [OIB 2011] entnommen. Der f_{PE} für Strom (Österreich Mix) ist 2,62 und jener für Erdgas ist 1,17.

Tabelle 5.7: Primärenergiebedarf
[Eigene Darstellung]

Jahr	RH [kWh/a]	WW [kWh/a]
2007	38.538	10.008
2008	37.343	8.122
2009	32.238	7.462
2010	35.998	6.783
2011	21.010	3.422
2012	11.568	0
2013	10.662	0

Der PEB für Raumheizung und Warmwasser ist für 2007 bis 2011 in der Abbildung 5.27 dargestellt. Der blaue Balken zeigt die Primärenergie, welcher in den jeweiligen Jahren für die Warmwasserbereitung aufgewendet wurde. Bis zur Sanierung erfolgte die Warmwasserbereitung mit Strom und nach der Sanierung mit einer thermischen Solaranlage. Der grüne Balken zeigt den PEB für Raumheizung. Für den Zweck der Raumheizung wird auch nach der Sanierung weiterhin Erdgas eingesetzt. Es zeigt sich, dass die Sanierung zu einer deutlichen Reduktion des PEB geführt hat.

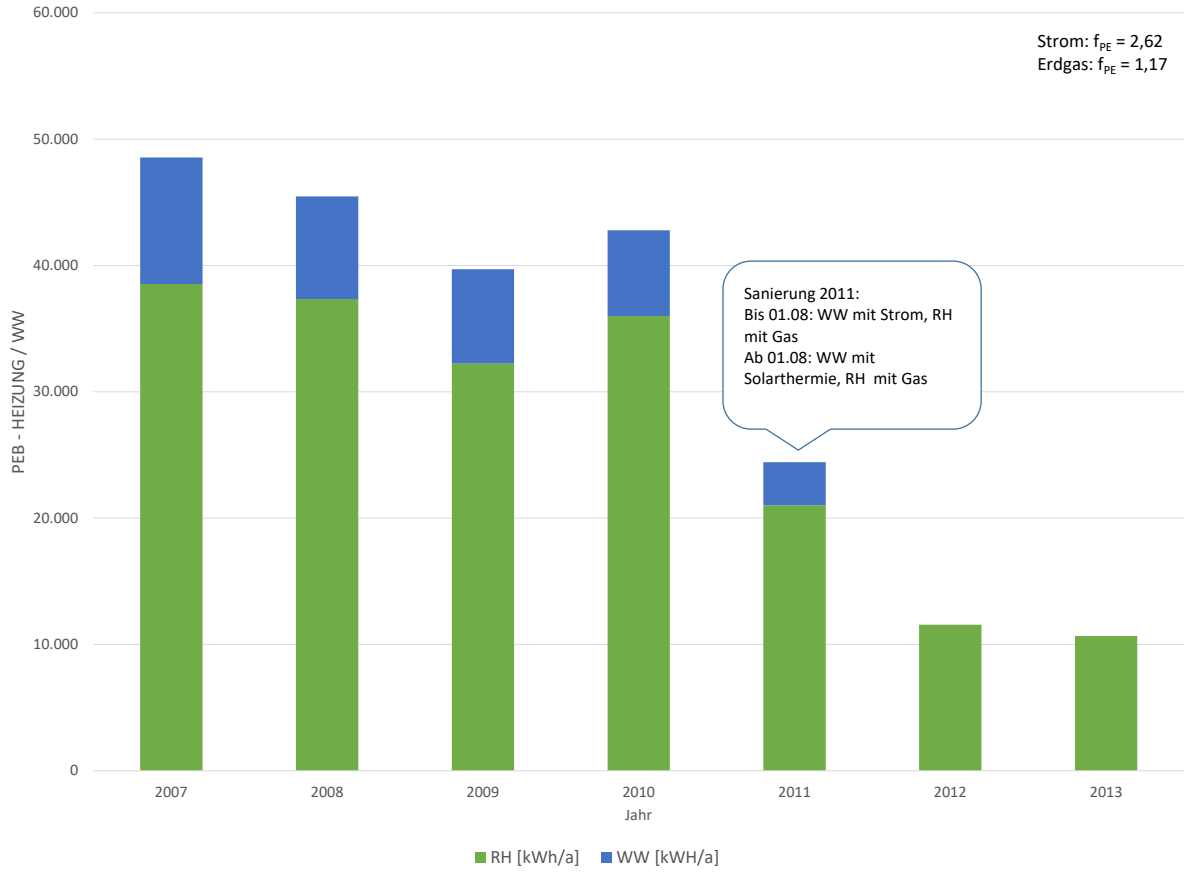


Abbildung 5.27: Primärenergiebedarf des EFH
[Eigene Darstellung]

Plusenergiehaus

Beim betrachteten Plusenergiehaus handelt es sich um ein EFH. Das Plusenergiegebäude lässt sich wie folgt charakterisieren:

- Typ: Neubau
- Baujahr: 2012
- Einreichzweck: Archiv
- Standort: Flachgau
- BGF: 178
- Mittlerer U-Wert: 0,15 W/m²K
- HWB_{SK}: 14,16 kWh/m².a
- HEB: 28,68 kWh/m².a
- CO_2: 4,45 kg/m².a
- Energieträger: Fernwärme
- Art der Warmwasserbereitung: gebäudezentral
- Warmwasserbereitung: kombiniert mit Raumheizung
- Thermische Solaranlage: 10 m²
- Pufferspeicher: 1000l

Im Rahmen der Analyse wurde untersucht, ob es sich bei diesem EFH tatsächlich um ein Plusenergiegebäude handelt. Hierfür wurde der Verbrauch an Primärenergie dem Ertrag, im engeren Sinne die Einspeisung, gegenübergestellt. Der Verbrauch setzt sich aus Fernwärme und Strom zusammen. In das Netz wird von der PV-Anlage produzierter Strom eingespeist. Es gibt bei diesem Gebäude für die Fernwärme lediglich Ablesedaten von 8 Monaten. Die Ablesedaten vom Fernwärmezähler reichen von 01.09. bis 01.05. des Folgejahres. Es wurde angenommen, dass während der Monate Mai bis August keine Fernwärme benötigt wird, da die WW-Bereitung durch die Solaranlage erfolgt. Die Zählerdaten für den Bezug von Strom vom Netz sowie die Einspeisung von PV-Strom in das Netz sind über einen Zeitraum von einem Jahr bekannt.

Der Vergleich zwischen der verbrauchten Primärenergie und durch PV-Strom-Einspeisung substituierter Primärenergie ist in Abbildung 5.28 ersichtlich. Es zeigt sich, dass die Einspeisung (10286 kWh/a) den Verbrauch (Fernwärme: 944 kWh/a, Strom: 5347 kWh/a) deutlich übersteigt, entsprechend stellt dieses EFH ein Plusenergiegebäude dar.

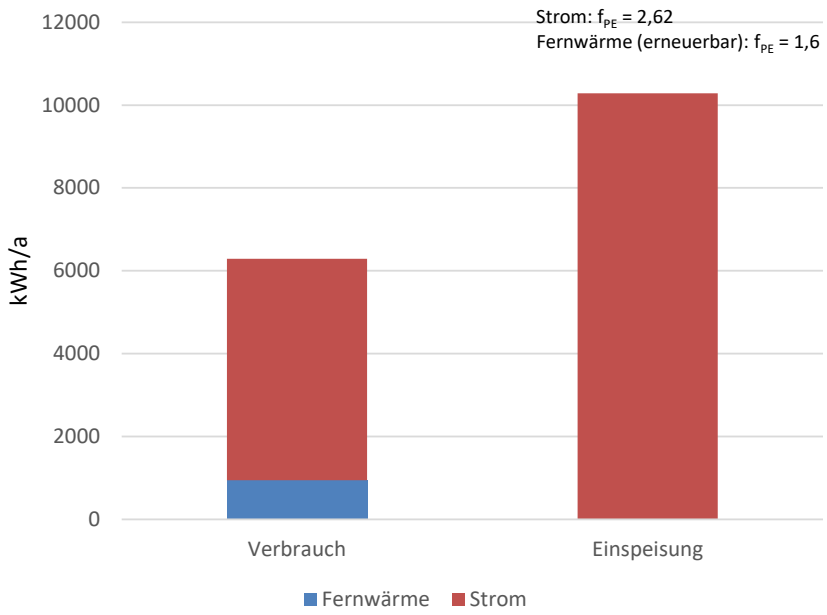


Abbildung 5.28: Vergleich der Primärenergie zwischen Verbrauch von Fernwärme und Strom und der Einspeisung von Strom

[Eigene Darstellung]

5.3.2 Nichtwohngebäude

Es gibt 19 Datensätze in der Energiebuchhaltung von Nichtwohngebäuden (NWG), welche auch eine ZEUS-Nummer aufweisen. Lediglich drei weisen ausreichend Daten auf, damit Bedarf- Verbrauch-Vergleich über ein Jahr möglich wäre. Zwei dieser Gebäude wurden ausgewertet.

5.3.2.1 Bank

Das ausgewählte NWG „Bank“ lässt sich folgend charakterisieren:

- Typ: Bestand
- Baujahr: 1972
- Einreichzweck: Archiv
- Standort: Salzburg Stadt
- BGF: 205,29
- Mittlerer U-Wert: 0,57 W/m²K
- HWB_{SK}: 94,0 kWh/m².a
- HEB: 107,2 kWh/m².a
- CO_2: 4,3 kg/m².a
- Energieträger: Fernwärme
- Nennwärmeleistung: 23,56 kW
- Warmwasserbereitung: getrennt von RH, dezentral, Elektr. Kleinspeicher

Die Bank weist einen Zähler für die Raumheizung auf. Der Bedarf- und Verbrauch-Vergleich der Raumheizung ist für die entsprechenden Gebäude in Tabelle 5.8 dargestellt.

Tabelle 5.8: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch (Endenergie) von RH
[Eigene Darstellung]

	HEB, RH [kWh/a]	Verbrauch [kWh/a]	Verbrauch bereinigt [kWh/a]	Abweichung Verbrauch2 von Bedarf
	19.913	27.742	3.1631	+59%
Jänner	4.612	7.166	8.061	+75%
Februar	3.263	4.015	3.233	-1%
März	2.339	1.977	2.867	+23%
April	994	351	449	-55%
Mai	0	150	150 *	+100%
Juni	0	356	356 *	+100%
Juli	0	361	361 *	+100%
August	0	357	357 *	+100%
September	0	2.020	2.020*	+100%
Oktober	1.272	1.681	2.856	+124%
November	2.995	3.668	4.199	+40%
Dezember	4.407	5.640	6.169	+40%

* Keine HGT-Bereinigung möglich

Verglichen wurde in Tabelle 5.8 der HEB_{RH} vom Energieausweis mit Verbrauchsdaten vom Zähler der Energiebuchhaltung. Die Verbrauchsdaten wurden über die Heizgradtage (HGT) bereinigt, d.h. es wurde berücksichtigt wie das Klima im Jahr der Zähleraufzeichnungen war. Bei der Zähleraufzeichnung wurde angenommen, dass es sich dabei um MWh anstatt der angegebene kWh handelt.

Die Zählerablesung erfolgte bei diesem Gebäude in unregelmäßigen Abständen. Infolge wurde mit Durchschnittswerten des jeweiligen Monates ein Verbrauch für den entsprechenden Monat berechnet.

Der grafische Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch ist in Abbildung 5.29 ersichtlich. Es sind dabei nur die Werte der Monate, welche HGT bereinigt werden konnten dargestellt.

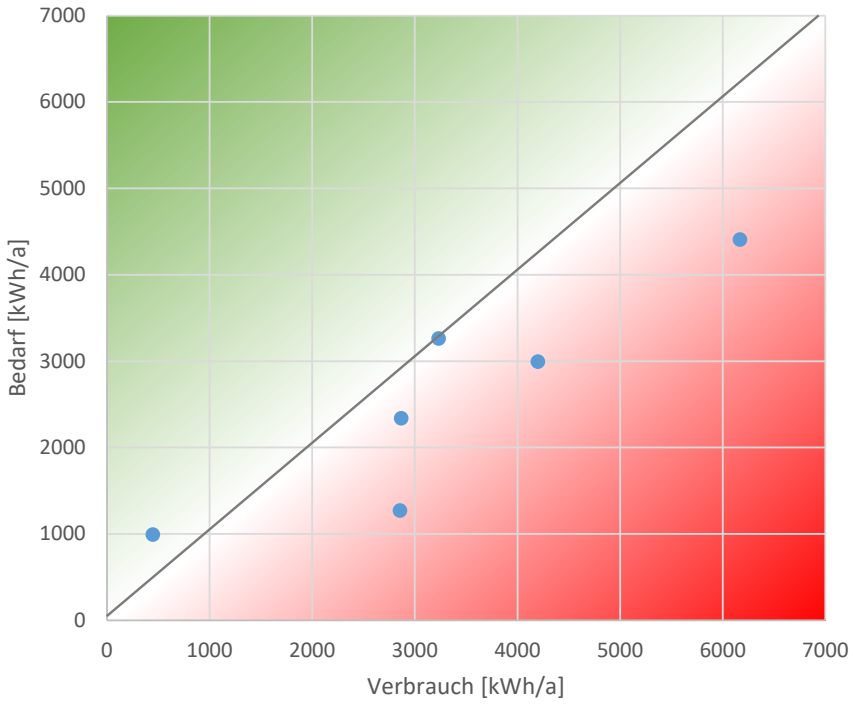


Abbildung 5.29: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch an Endenergie (HGT bereinigt) für das Jahr 2012 [Eigene Darstellung]

5.3.2.2 Schule

Als zweites NWG wurde eine „Schule“ betrachtet. Die Schule lässt sich folgend charakterisieren:

- Typ: Sanierungsfertigstellung
- Baujahr: 1986
- Einreichzweck: GAF

- Standort: Lungau
- BGF: 771
- Mittlerer U-Wert: 0,26 W/m²K
- HWB_{SK}: 36,27 kWh/m².a
- HEB: 48,72 kWh/m².a
- CO2: 13,63 kg/m².a
- Energieträger: Fernwärme
- Art der Warmwasserbereitung: gebäudezentral
- Warmwasserbereitung: kombiniert mit Raumheizung

Der Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch für die einzelnen Monate sowie für das gesamte Jahr 2012 ist in Tabelle 5.9 ersichtlich.

Tabelle 5.9: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch der Fernwärme (Endenergie) [Eigene Darstellung]

	HEB gesamt [kWh/a]	Verbrauch [kWh/a]	Abweichung
Gesamtes Jahr	37.536	38.553	+3%
Jänner	6.584	3.305	-50%
Februar	5.026	9.991	+99%
März	4.415	5.297	+20%
April	3.135	2.936	-6%
Mai	2.229	2.985	+34%
Juni	426	918	+115%
Juli	446	856	+92%
August	446	843	+89%
September	1.023	1.125	+10%
Oktober	2.982	2.331	-22%
November	4.462	3.139	-30%
Dezember	6.410	4.837	-25%

Eine HGT-Bereinigung wurde bei diesem Objekt nicht durchgeführt, da die benötigten Daten dafür nicht vorhanden sind. Der Standort des Gebäudes weist ein deutlich kälteres Klima auf (geringere monatliche Durchschnittstemperaturen) sowie mehr Heiztage als verfügbare Vergleichsstandort mit den Klimadaten. Mit der ÖNORM B 8110 wäre es zwar möglich einen Referenz-Temperaturunterschied zwischen dem Standort und dem Ort mit den verfügbaren Messdaten (Kuchl) zu ermitteln. Mit Hilfe der Messdaten aus Kuchl und den ermittelten Referenz-Temperaturunterschied ist es möglich sich den durchschnittlichen Monatstemperaturen vom Standort im Jahr 2012

(= Jahr der Zähleraufzeichnung) anzunähern, allerdings kann die Anzahl der Heiztage im Jahr 2012 beim Standort nicht festgestellt werden. Infolge würde eine HGT-Bereinigung keine brauchbaren Ergebnisse liefern.

Der Vergleich ist grafisch in Abbildung 5.30 dargestellt.

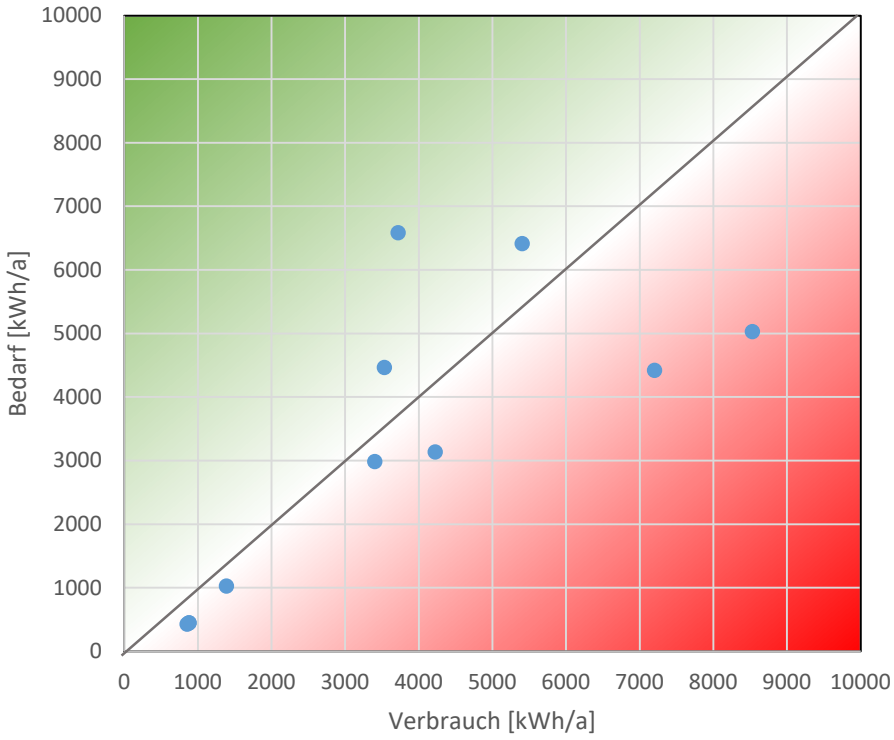


Abbildung 5.30: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch der Fernwärme (Endenergie) für das Jahr 2012 [Eigene Darstellung]

Der Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch zeigte im Grunde, wie stark die Verbräuche vom Nutzerverhalten abhängig sind. Selbst bei energetisch betrachtet ähnlichen Gebäuden, kann sich der Verbrauch erheblich voneinander unterscheiden. Um einen aussägekräftige Ergebnisse bei einem Bedarf-Verbrauch-Vergleich erhalten zu können, ist mehr Wissen über die tatsächliche Nutzung erforderlich. Weiters sei darauf hingewiesen, dass der Energieausweis nicht dafür entwickelt wurde die berechneten Bedarfswerte mit dem Verbrauch an Energie laut Zählerständen zu vergleichen. Der Zweck des Energieausweises ist es vielmehr eine energietechnische Vergleichsbasis zwischen unterschiedlichen Gebäuden zu schaffen.

5.4 Conclusio

Rund 11 % der Datensätze der Zeus-Datenbank sind nicht für eine statistische Auswertung geeignet. Gründe hierfür sind, dass diese Daten entweder nicht plausibel erscheinen, oder durch Mehrfachupload von Energieausweisen mehrfach in der Datenbank vorhanden sind.

Die Datenauswertung hatte zum Ergebnis, dass regernative Energiequellen vermehrt zum Einsatz kommen. Bei kürzlich errichteten Gebäuden (Baujahr ab 2011) liegt der Anteil an solarthermischen Anlagen und PV-Anlagen bereits bei 40,7 % (Solarthermie) bzw. 7,6 % (PV). Ebenso zeigt sich beim Vergleich des Energieträgereinsatzes vor und nach der Sanierung, dass weniger umweltfreundliche Energieträger an Bedeutung verlieren. Im Zuge der Sanierung hat sich der eingesetzte Energieträger bei 19 % der Wohngebäude geändert. Vielfach werden nach der Sanierung andere Energieträger anstatt Heizöl zur Erzeugung der thermischen Energie verwendet. Im Bestand wurden 42,1 % der Heizungsanlagen mit Heizöl betrieben, nach der Sanierung hat sich der Anteil auf 30,9 % reduziert, das entspricht einem Minus von 26,5 %. Der Anteil von Biomasse hat sich von 19,8 % auf 24,1 % erhöht, dass bedeutet eine Veränderung von Plus 24,3 %. Ein Aufschwung zeigt sich auch beim Einsatz von Wärmepumpen und Fernwärme.

Neben dem Heizungstausch erfolgt bei Sanierungsmaßnahmen vielfach auch eine thermische Ertüchtigung der Gebäudehülle und anderer Bauteile. Der Vergleich des Mittleren U-Wertes vor und nach Sanierung der Wohngebäude zeigt sich eine Reduktion des Medians von 0,82 W/m²K (Bestand) auf 0,38 W/m²K (Sanierungsfertigstellung).

Besonders lässt sich das Ausmaß der Sanierung der Salzburger Wohngebäude bei Betrachtung des HWB Standortklima erkennen. Im Zuge der Sanierung konnte dieser mehr als halbiert werden. Im Bestand lag der Median bei 158 kWh/m².a und nach der Sanierung bei rund 69 kWh/m².a.

Im Rahmen dieser Analyse konnte aufgezeigt werden, welche Verbesserungen der energietechnischen Kennwerte der Salzburger Wohngebäude durch die Sanierung erzielt werden konnten. Weiters lässt sich erahnen, welches Potenzial in der fachmännischen Sanierung von Gebäuden liegt.

6 Alternative Leuchtturmkonzepte

Im Rahmen dieses Kapitels werden visionäre, zukunftsträchtige und gesamtheitliche Gebäudekonzepte auf deren Darstellbarkeit im Energieausweis analysiert. Hierbei gilt es zu betrachten, wie diese Konzepte im Energieausweis abgebildet sind und ob die Konzepte vom Energieausweis erschlossen werden können. Weiters gilt es zu betrachten, wie die Konzepte bei anderen Bauauslegungs- und Bewertungsmodellen, wie etwa Fördermodellen berücksichtigt werden.

6.1 Mehrfamilienhaus

Bei einem der betrachteten Leuchtturmprojekte handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus mit dem Baujahr 2012 aus dem Pinzgau. Die Gebäudetechnischen Kennwerte sind in Tabelle 6.1 dargestellt. Die haustechnischen Komponenten wurden bei diesem Gebäude dahingehend optimiert, dass ein hoher Anteil der benötigten thermischen Energie solarthermisch bereitgestellt werden kann. Der spezifische Solarertrag beträgt 568 kWh/m².a.

Tabelle 6.1: Kenndaten Mehrfamilienhaus 1
[Eigene Darstellung]

GEBÄUDE		
Baujahr	2012	
BGF	1.594	m²
konditioniertes Gebäudevolumen	4.949	m³
charakteristische Länge	2,35	m
Heizgradtage 12/20	4.347	Kd
mittlerer U-Wert	0,25	W/m².K
Bauweise	Massiv + WDVS	
RAUMHEIZUNG		
Wärmebereitstellung	gebäudezentral	
Wärmeabgabe	Flächenheizung	
Systemtemperaturen	40/30	°C
Wärmespeicher	Pufferspeicher, 5.500l	
Energieversorgung	Gas	
Nennwärmeleistung	90	kW
WARMWASSER		
Wärmebereitstellung	dezentral	
Warmwasserspeicher	Solarspeicher, 5.500 l	
SOLARTHERMIE		
Kollektorart	Flachkollektor	
Aperturfläche	55	m²
Kollektorneigung	45	°
spez. Solarertrag	568	kWh/m².a
LÜFTUNG		
Energetisch wirksamer Luftwechsel	0,165	1/h
Wärmebereitstellungsgrad	85	%

Die Energiekennwerte HWB_{Sk}, PEB_{SK}, $CO_{2\ Sk}$ und fgee sind in Abbildung 6.1 grafisch dargestellt.

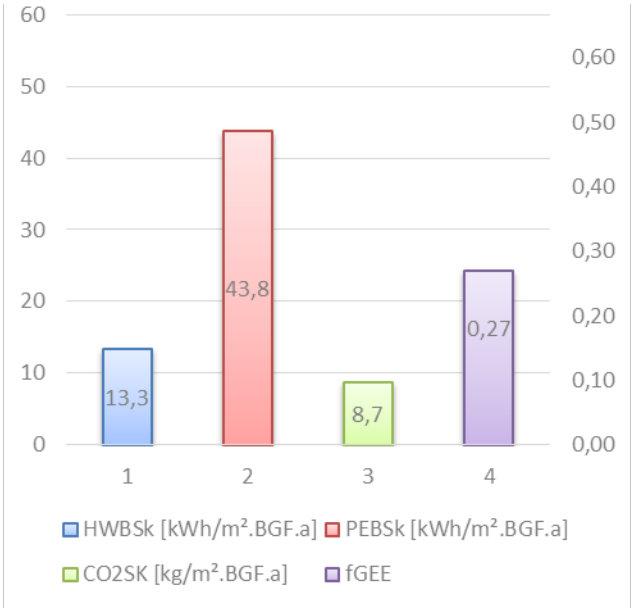


Abbildung 6.1: Energiekennwerte von Mehrfamilienhaus 1
[Eigene Darstellung]

Die Werte nach dem Energieausweis wurden mit dem tatsächlichen Verbrauchs- und Ertragswerten laut Zähleraufzeichnungen verglichen (siehe Abbildung 6.2).

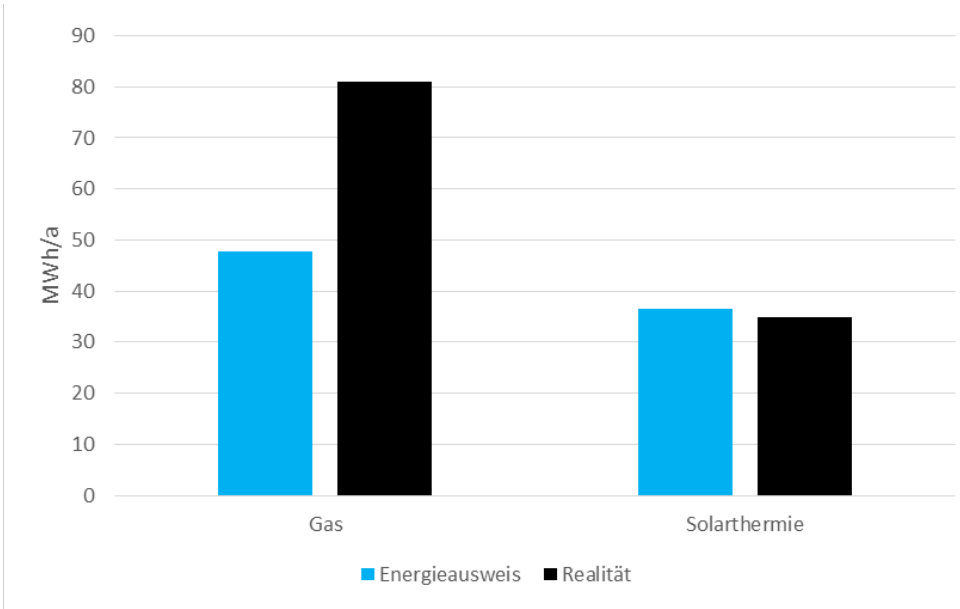


Abbildung 6.2: Primärenergetischer Vergleich der Wärme für Raumheizung und Warmwasser zwischen Energieausweis und den tatsächlicher Zählerdaten, Mehrfamilienhaus 1, [Eigene Darstellung]

Es zeigte sich, dass der Primärenergieverbrauch von Erdgas den Primärenergiebedarf laut Energieausweis deutlich übersteigt. Der Ertrag der solarthermischen Anlage laut Wärmemengenzähler stimmt mit den errechneten nach dem Energieausweis annähernd überein. Betrachtet wurde bei diesem Vergleich die Primärenergie für Wärme (Raumheizung und Warmwasser). Die Konversionsfaktoren sind für Gas 1,17 und für Wärme 1,0.

In Tabelle 6.2 finden sich die Kennwerte eines weiteren betrachteten Mehrfamilienhauses (MFH 2) aus dem Pongau. Wie bereits das zuvor betrachtete Mehrfamilienhaus, ist auch dieses durch einen relativ hohen Ertrag der Solarthermie-Anlage (557 kWh/m².a) gekennzeichnet.

Tabelle 6.2: Kenndaten Mehrfamilienhaus 2
[Eigene Darstellung]

GEBÄUDE		
Baujahr	2013	
BGF	3.931	m²
konditioniertes Gebäudevolumen	12.803	m³
charakteristische Länge	2,26	m
Heizgradtage 12/20	4.354	Kd
mittlerer U-Wert	0,25	W/m².K
Bauweise	Massiv + WDVS	
RAUMHEIZUNG		
Wärmebereitstellung	gebäudezentral	
Wärmeabgabe	Radiatoren	
Systemtemperaturen	60/35	°C
Wärmespeicher	Pufferspeicher, 13200l	
Energieversorgung	Pellets	
Nennwärmeleistung	130	kW
WARMWASSER		
Art d. Wärmebereitstellung	dezentral	
Wärmebereitstellung	kombiniert mit RH	
SOLARTHERMIE		
Kollektorart	Flachkollektor	
Aperturfläche	132	m²
Kollektorneigung	45	°
Kollektorverdrehung	5	°
spez. Solarertrag	557	kWh/m².a
LÜFTUNG		
Energetisch wirksamer Lüftwechsel	0,12	1/h
Wärmebereitstellungsgrad	87	%

Die Energiekennwerte HWB_{Sk}, PEB_{SK}, $CO_{2\,Sk}$ und fgee sind in Abbildung 6.3 grafisch dargestellt.

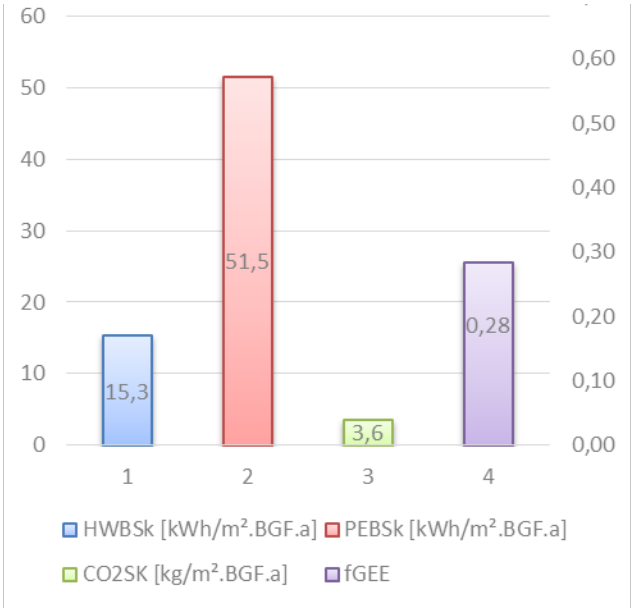


Abbildung 6.3 Energiekennwerte vom Mehrfamilienhaus 2
[Eigene Darstellung]

Die Werte nach dem Energieausweis wurden wie zuvor mit dem tatsächlichen Verbrauchs- und Ertragswerten laut Zähleraufzeichnungen verglichen (siehe Abbildung 6.4). Es zeigte sich, dass der Primärenergieverbrauch des Energieträgers Pellets den Primärenergiebedarf laut Energieausweis deutlich übersteigt. Der Ertrag der solarthermischen Anlage laut Wärmemengenzähler stimmt mit dem errechneten, nach dem Energieausweis, annähernd überein. Betrachtet wurde bei diesem Vergleich die Primärenergie für Wärme (Raumheizung und Warmwasser). Die Konversionsfaktoren sind für Gas 1,08 und für Wärme 1,0.

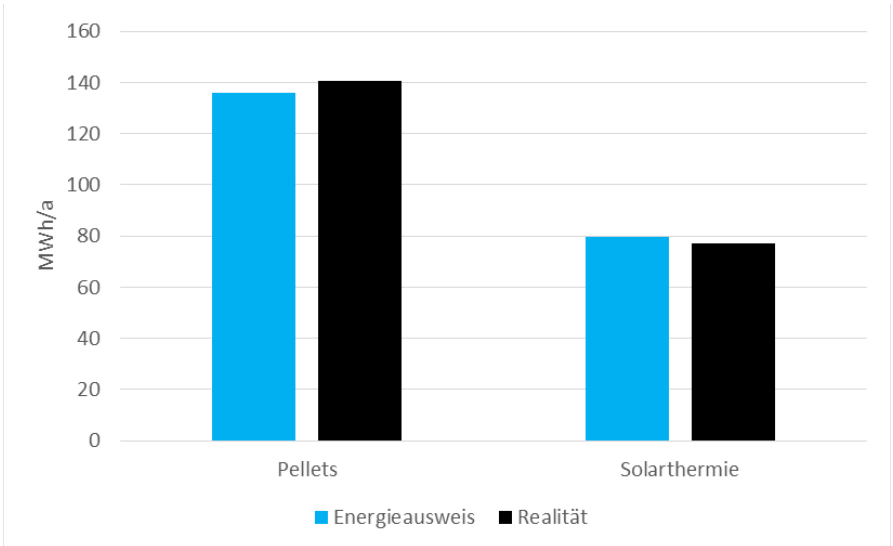


Abbildung 6.4: Primärenergetischer Vergleich der Wärme für Raumheizung und Warmwasser zwischen Energieausweis und den tatsächlicher Zählerdaten, Mehrfamilienhaus 2
[Eigene Darstellung]

Da es sich bei MFH 1 und MFH 2 um ähnliche Gebäude handelt (ähnliche Bauweise, energietechnische Kenngrößen) wurden sie miteinander verglichen. Ein zentraler Unterschied zwischen den beiden Bauten liegt in der Energieversorgung, Energieträger Gas bei MFH 1 und Pellets bei MFH 2. Die Parameter HWB_{Sk}, PEB_{SK}, $CO_{2\ Sk}$ und fgee der beiden Gebäude sind in Abbildung 6.5 ersichtlich.

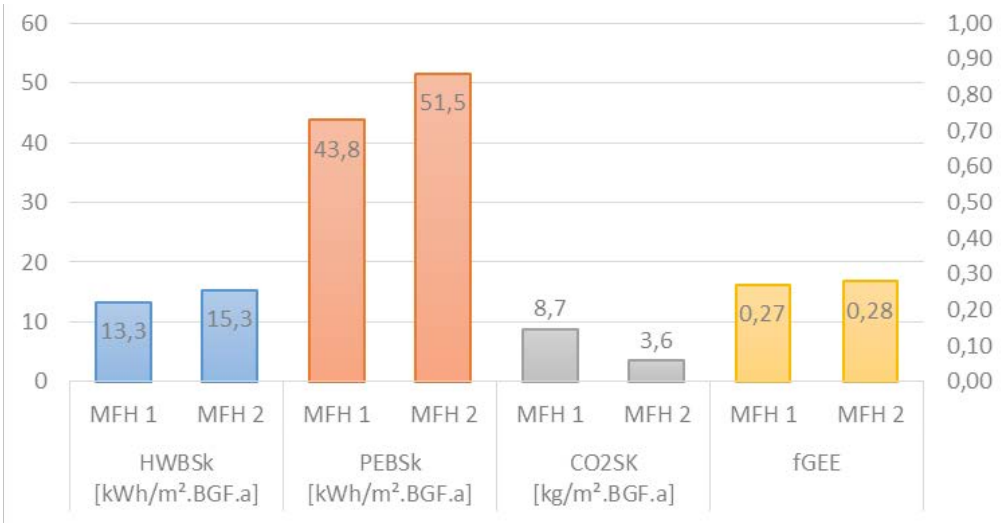


Abbildung 6.5: Vergleich der Bedarfswerte zwischen Mehrfamilienhaus 1 und Mehrfamilienhaus 2 [Eigene Darstellung]

Abbildung 6.6 zeigt den Bedarf-Verbrauch-Vergleich zwischen MFH1 und MFH2. Es zeigt sich, dass der tatsächliche Verbrauch um rund 70 % den prognostizierten Bedarf laut Energieausweis übersteigt. Bei MFH2 stimmen sehr gut überein, die Abweichung beträgt 3 %. Bei der Datenauswertung lagen nur Jahreswerte des Verbrauchs vor. Es ist nicht möglich detaillierte Rückschlüsse zu bilden, weshalb sich zwischen den Bedarf und den Verbrauch so hohe Unterschiede ergeben. Das Nutzerverhalten kann fraglos einen hohen Einfluss auf die tatsächlichen Verbrauchswerte haben. Es ist weder bekannt wie viele Personen und welche Personengruppen in den beiden Gebäuden wohnen, noch wie die einzelnen Wohnungen ausgestattet sind (Badewanne versus Dusche) und welches Warmwasserverbrauchsverhalten die Nutzer haben (Bsp.: Duschen in der Arbeit, im Fitnessstudio im Vergleich zu Wasserverbrauch von Familien mit kleinen Kindern). Weiters gibt es keine Daten darüber welche Innentemperaturen in den einzelnen Wohnungen herrschen.

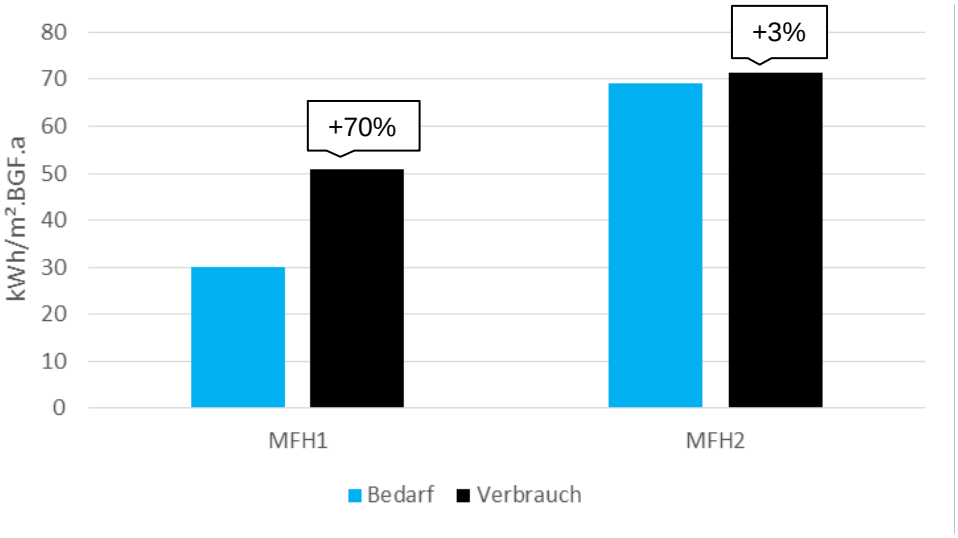


Abbildung 6.6: Primärenergetischer Vergleich der Wärme für Raumheizung und Warmwasser zwischen Energieausweis und den tatsächlicher Zählerdaten von Mehrfamilienhaus 1 zu Mehrfamilienhaus 2

[Eigene Darstellung]

6.2 Zweifamilienhaus

Neben den zuvor betrachteten Mehrfamilienhäusern, wurde der Energiebedarf eines Zweifamilienhauses aus dem Tennengau mit dessen Energieverbrauch verglichen. Es handelt sich hierbei um ein Massivholzgebäude errichtet im Jahr 2011. Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe stellt die zentrale Komponente der Heizungsanlage dar, die Wärmeabgabe erfolgt mittels Flächenheizung. Die einzelnen Gebäudekennwerte sowie Parameter von der Haustechnikanlage sind in Tabelle 6.3 ersichtlich.

Tabelle 6.3: Kenndaten Zweifamilienhaus

[Eigene Darstellung]

GEBÄUDE		
Baujahr	2011	
BGF	223	m²
konditioniertes Gebäudevolumen	674	m³
charakteristische Länge	1,86	m
Heizgradtage 20/12	3.761	Kd
mittlerer U-Wert	0,25	W/m².K
Bauweise	Holzmassivbau	
RAUMHEIZUNG		
Wärmebereitstellung	gebäudezentral	
Wärmeabgabe	Flächenheizung	
Systemtemperaturen	35/28	°C
Wärmespeicher	Pufferspeicher, 440l	
Energieversorgung	Wärmepumpe	
WARMWASSER		
Art der Wärmebereitstellung	gebäudezentral	
Wärmebereitstellung	kombiniert mit RH	
Speicher	Wärmepumpenspeicher, 445l	
WÄRMEPUMPE		
Art	Luft/Wasser	
Leistung	4,3	kW
COP A7/W35	3,7	
LÜFTUNG		
Energetisch wirksamer Lüftwechsel	0,092	1/h
Wärmebereitstellungsgrad	87	%

Die Energiekennwerte HWB_{Sk}, PEB_{SK}, $CO_{2\ Sk}$ und fgee sind in Abbildung 6.7 grafisch dargestellt.

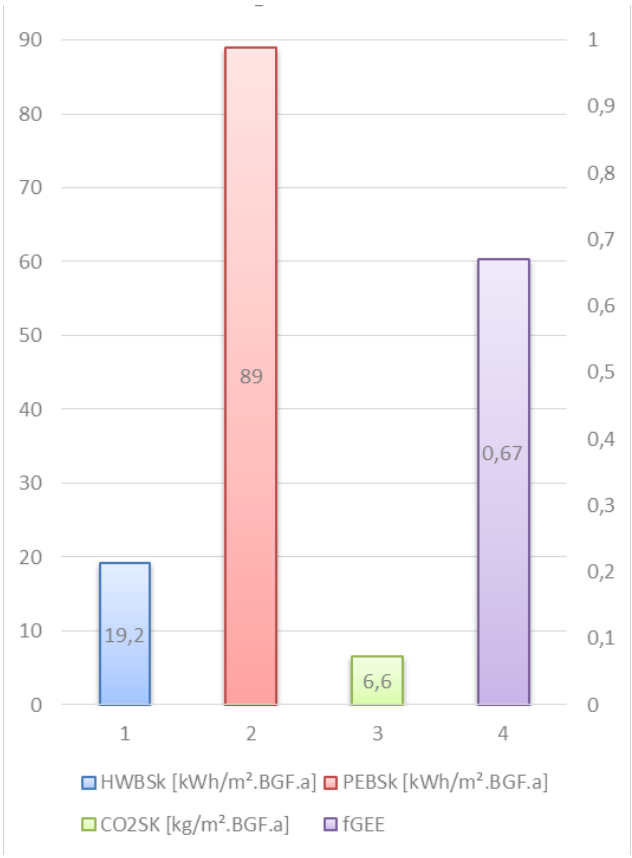


Abbildung 6.7: Energiekennwerte vom Zweifamilienhaus
[Eigene Darstellung]

Von dem Gebäude wurden detaillierte Zähleraufzeichnungen im Monatsintervall von mehreren Jahren zu Verfügung gestellt. Dadurch waren auch tief untergliederte Auswertungen möglich. Abbildung 6.8 zeigt den Vergleich des Bedarfs mit den Endenergieverbräuchen an Wärme der Jahre 2012 bis 2014. Es zeigt sich, dass sich der einzelne Jahresverbrauch nur geringfügig voneinander unterscheidet. Weiters ist die Abweichung des Verbrauches zum ermittelten Bedarf laut Energieausweise ebenso gering. Ein möglicher Rückschuss wäre, dass der Energieausweis die reale Situation des Hauses gut abbildet. Die Problematik ist allerdings, dass das tatsächliche Nutzerverhalten nicht bekannt ist. Es wäre durchaus möglich, dass in dem Gebäude zu 20° C abweichende Innentemperaturen herrschen.

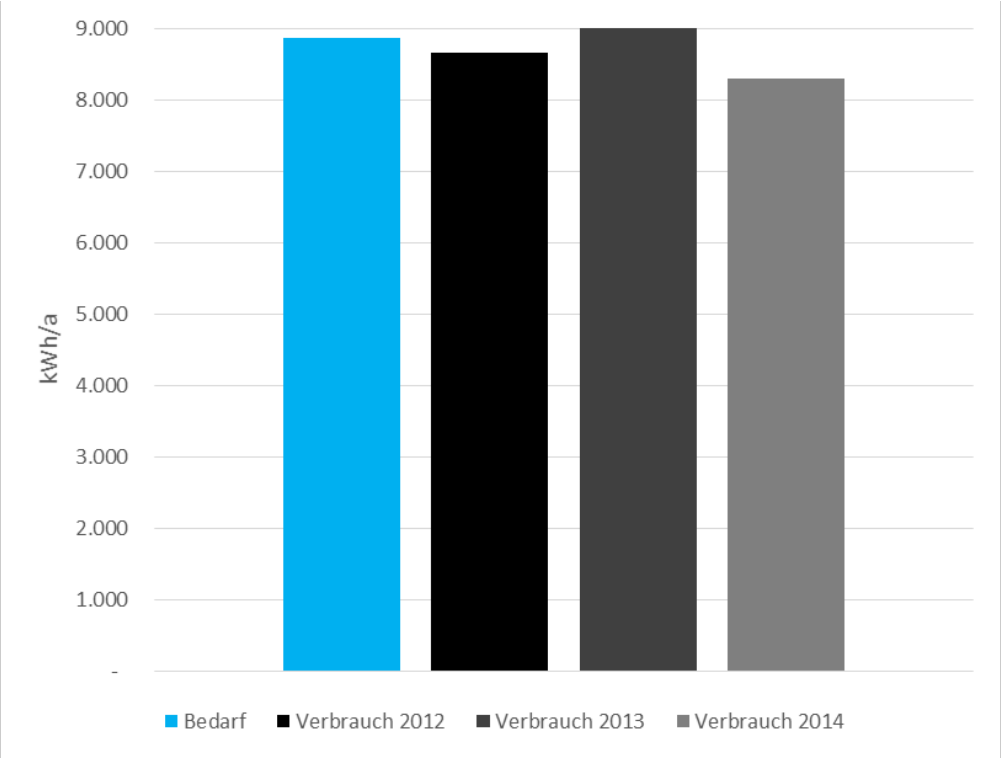


Abbildung 6.8: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch der Jahre 2012 bis 2014 an Endenergie für Wärme vom Zweifamilienhaus

[Eigene Darstellung]

Begründet durch die detaillierten Aufzeichnungen war es möglich den Vergleich ebenso auf Monatsbasis zu ziehen (siehe Abbildung 6.9). Hier sind die Verbräuche von den einzelnen Monaten der Jahre 2012 und 2013 dargestellt. Das Jahr 2014 wurde nicht betrachtet, da die Monatsaufzeichnungen lückenhaft waren.

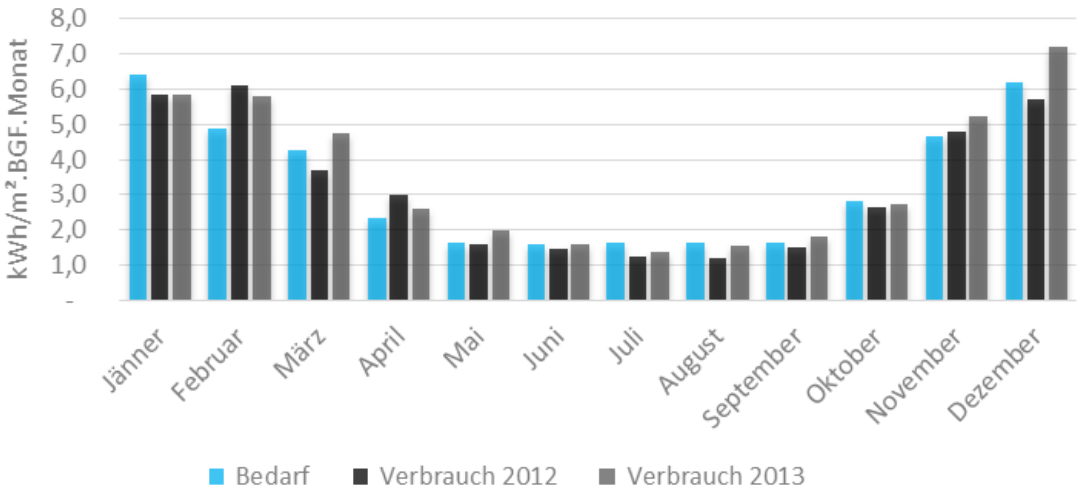


Abbildung 6.9: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch der Jahre 2012 und 2013 an Endenergie für Wärme (WW + RH) vom Zweifamilienhaus

[Eigene Darstellung]

Zum Zweck eines besseren Vergleichs der Abweichung zwischen Bedarf und den einzelnen Verbräuchen sind die einzelnen Werte in Abbildung 6.10 dargestellt. Die graue Linie dient als Anhaltspunkt, wenn der Verbrauch exakt den Bedarf entspricht. Die Werte im grünen Bereich zeigen auf, wenn der Verbrauch den Bedarf unterschreitet. Im roten Bereich liegen die Werte in dem Fall, dass der Verbrauch höher ist als der berechnete Bedarf laut Energieausweis.

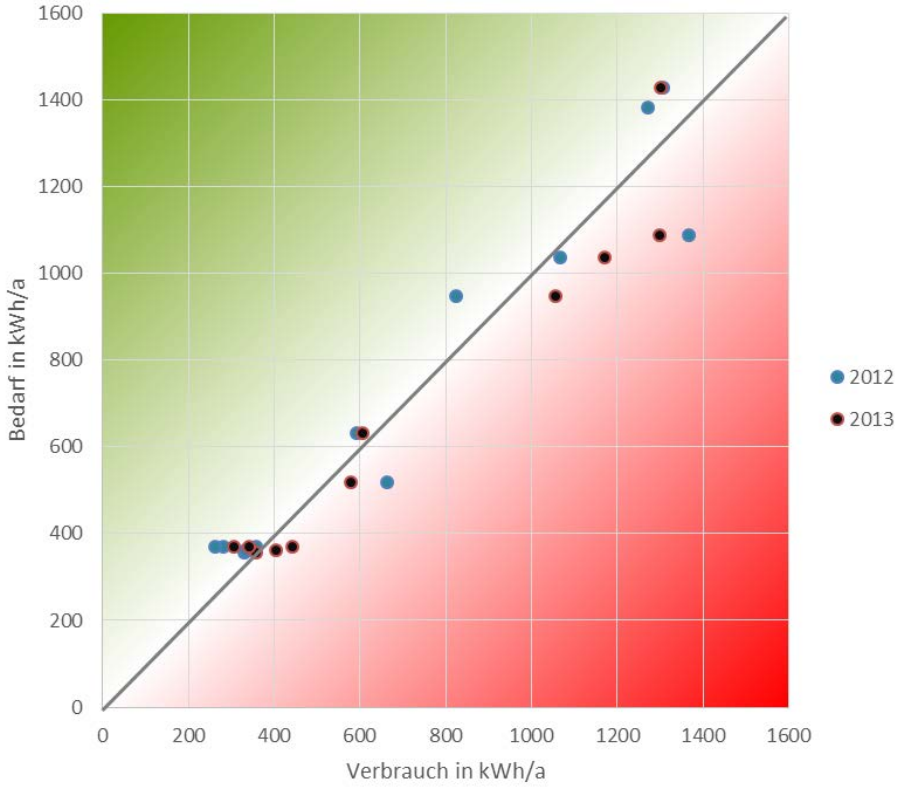


Abbildung 6.10: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch für Wärme vom Zweifamilienhaus [Eigene Darstellung]

In selbiger Weise wie bei der Wärme wurde auch der Strombedarf mit dem Stromverbrauch bei diesem Zweifamilienhaus verglichen. Da es nicht bekannt war, ob die Komponenten der Heizanlage, welche Hilfsenergie benötigen (z.B. Pumpen) beim Wärmepumpenstromzähler oder beim Haushaltsstromzähler berücksichtigt werden, wurden unterschiedliche Varianten verglichen. Bei der ersten Variante wurde angenommen, dass Hilfskomponenten der Heizungsanlage mit dem Stromverbrauch der Wärmepumpe gemeinsam erfasst werden, also mit dem Wärmepumpenstromzähler. Bei der zweiten Variante wurde angenommen, dass diese Komponenten nicht gemeinsam mit der Wärmepumpe und folglich mit dem Haushaltsstromzähler erfasst werden. Der Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch ist in Abbildung 6.11 umgerechnet in Primärenergie ersichtlich. Der Konversionsfaktor für Strom beträgt dabei 2,62.

Es zeigt sich, dass der Bedarf den Verbrauch insgesamt übersteigt, insbesondere beim Haushaltsstrom finden sich erhebliche Abweichungen. Der Unterschied zwischen den beiden Varianten der Zuordnung der Hilfsenergie ist zwar nicht groß, allerdings zeigt er die Grenzen in Hinblick auf die Möglichkeiten des Bedarf-Verbrauchvergleichs. Bei der alleinigen Aufzeichnung von Zählerwerten wird, gibt es immer die Ungewissheit, was der Zähler alles erfasst.

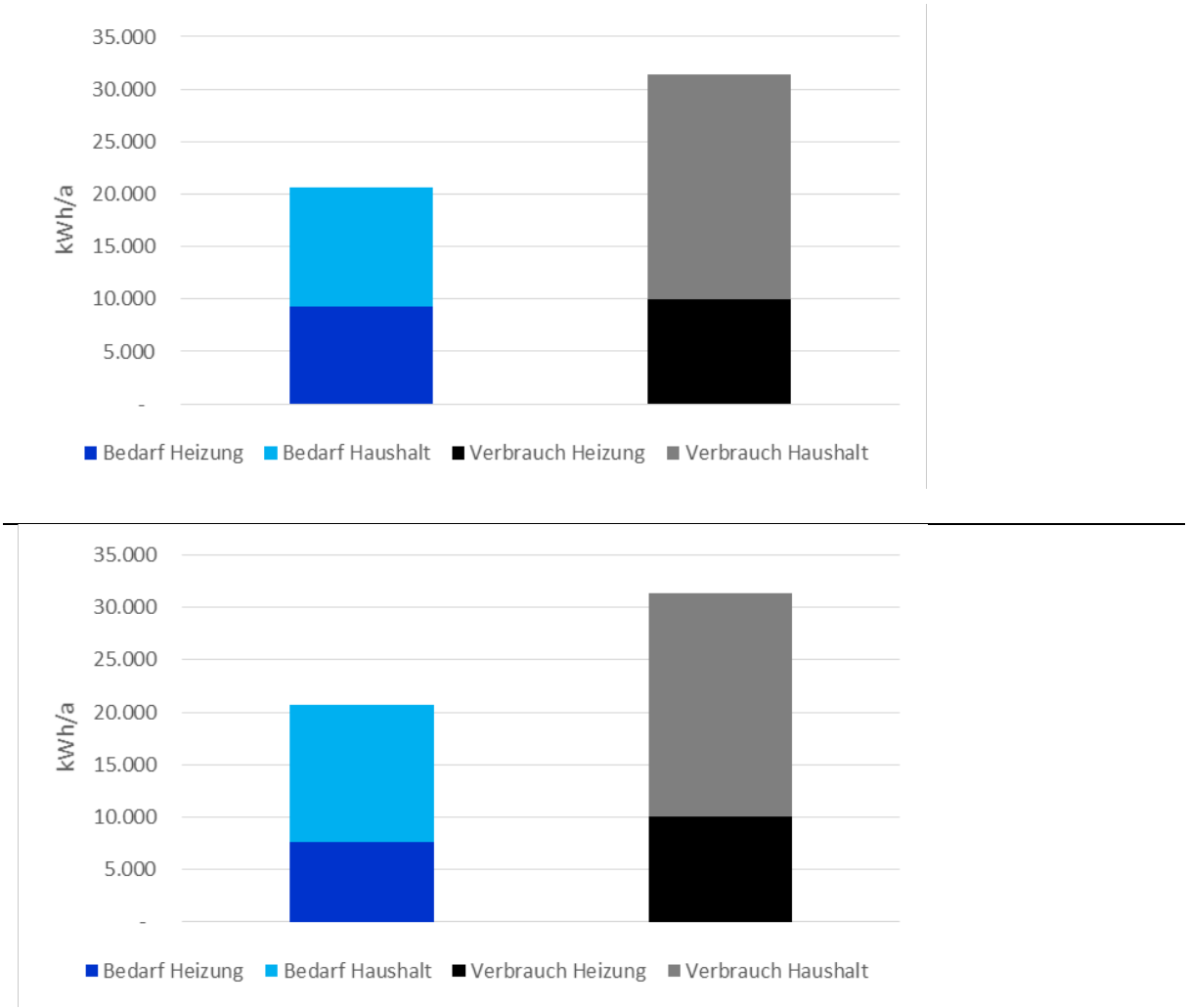


Abbildung 6.11: Vergleich Bedarf und Verbrauch von elektrischer Energie des Zweifamilienhaus [Eigene Darstellung]

6.3 Einfamilienhaus

Im Rahmen Arbeit wurde auch ein Einfamilienhaus aus dem Flachgau betrachtet. Die Kennwerte dieses Gebäudes sind in Tabelle 6.4 dargestellt. Das Einfamilienhaus wurde 2011 im Holzriegelbau errichtet. Beheizt wird das Gebäude mittels Fernwärme in Kombination mit Solarthermie. Weiters

verfügt das Gebäude über eine 2,88 kWp PV-Anlage mit Tracking-System und eine Lüftungsanlage.

Tabelle 6.4: Kenndaten Einfamilienhaus
[Eigene Darstellung]

GEBÄUDE		
Baujahr	2011	
BGF	178	m²
konditioniertes Gebäudevolumen	621	m³
charakteristische Länge	1,33	
Heizgradtage 20/12	4.014	Kd
mittlerer U-Wert	0,15	W/m².K
Bauweise	Holzriegelbau	
RAUMHEIZUNG		
Wärmebereitstellung	gebäudezentral	
Wärmeabgabe	Flächenheizung	
Systemtemperaturen	35/28	°C
Wärmespeicher	Pufferspeicher 1.000 l	
Energieversorgung	Fernwärme	
Nennwärmeleistung	6,07	kW
WARMWASSER		
Art der Wärmebereitstellung	zentral	
Wärmebereitstellung	kombiniert mit Raumheizung	
SOLARTHERMIE		
Kollektorart	Flachkollektor hochselektiv	
Aperturfläche	10	m²
Kollektorneigung	60	°C
spez. Solarertrag	576,9	kWh/m².a
PHOTOVOLTAIK		
Art	Multikristallines Silicium	
Leistung	2,88	kWp
Modulneigung	33	°
spez. PV-Ertrag	968	kWh/kWp
LÜFTUNG		
Energetisch wirksamer Lüftwechsel	0,159	1/h
Wärmebereitstellungsgrad	65	%

Die Energiekennwerte HWB_{Sk}, PEB_{SK}, $CO_{2\,Sk}$ und fgee sind in Abbildung 6.12 grafisch dargestellt.

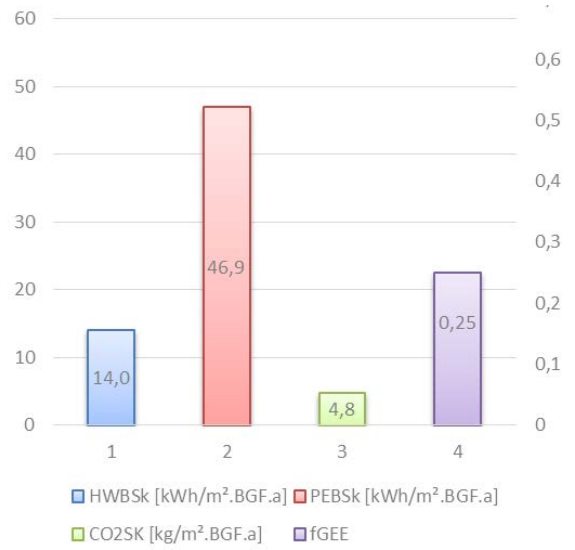


Abbildung 6.12: Energiekennwerte vom Einfamilienhaus
[Eigene Darstellung]

Ein Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch der Wärme und des Stroms ist in Abbildung 6.13 ersichtlich. Im Energieausweis wird der seitens der PV-Anlage produzierte Strom für die Eigenbedarfsdeckung des Haushaltstroms bilanziert. Bei den Verbrauchsdaten gibt es allerdings nur Werte für den Stromverbrauch und die in das Netz eingespeiste elektrische Energie von der PV. In Folge ist beim Verbrauch, sowohl der Stromverbrauch vom Haushalt als auch jener von Pumpen und anderen Hilfsenergiekomponenten der Heiztechnikanlage berücksichtigt.

Der Konversionsfaktor für Wärme ist 1,0 und jener für Strom 2,62

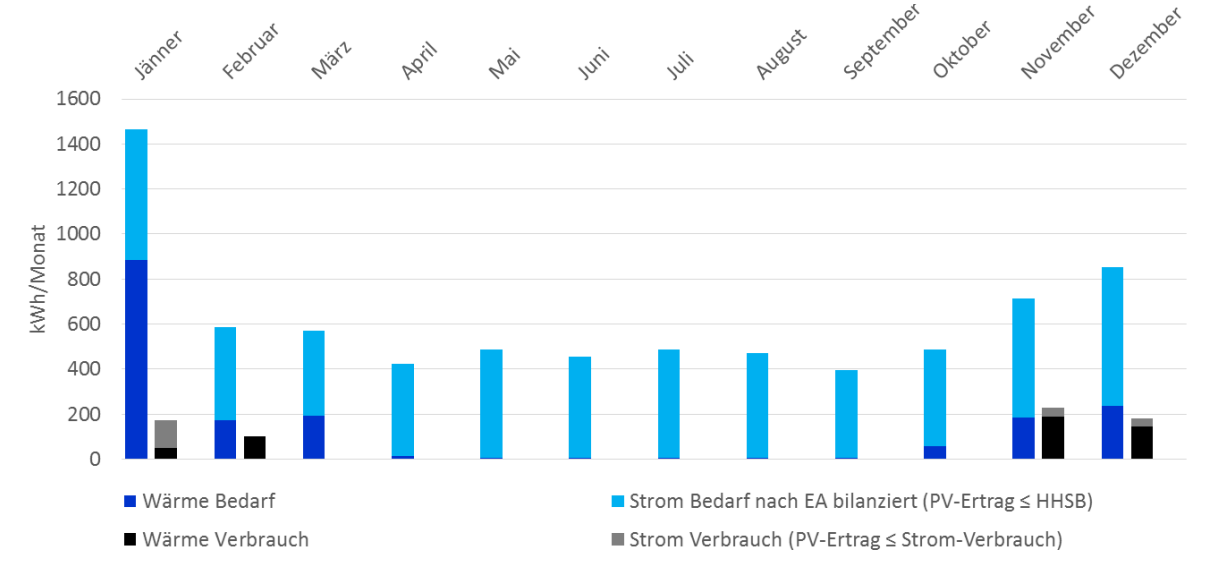


Abbildung 6.13: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch (Primärenergie) für Wärme und Strom des Einfamilienhauses, bei Eigenbedarfsdeckung des Haushaltsstrombedarfs
[Eigene Darstellung]

Würde neben dem Haushaltsstrombedarf auch die Deckung des Hilfsstrombedarfs berücksichtigt, ergibt sich ein Bedarf-Verbrauchsvergleich entsprechend Abbildung 6.14.

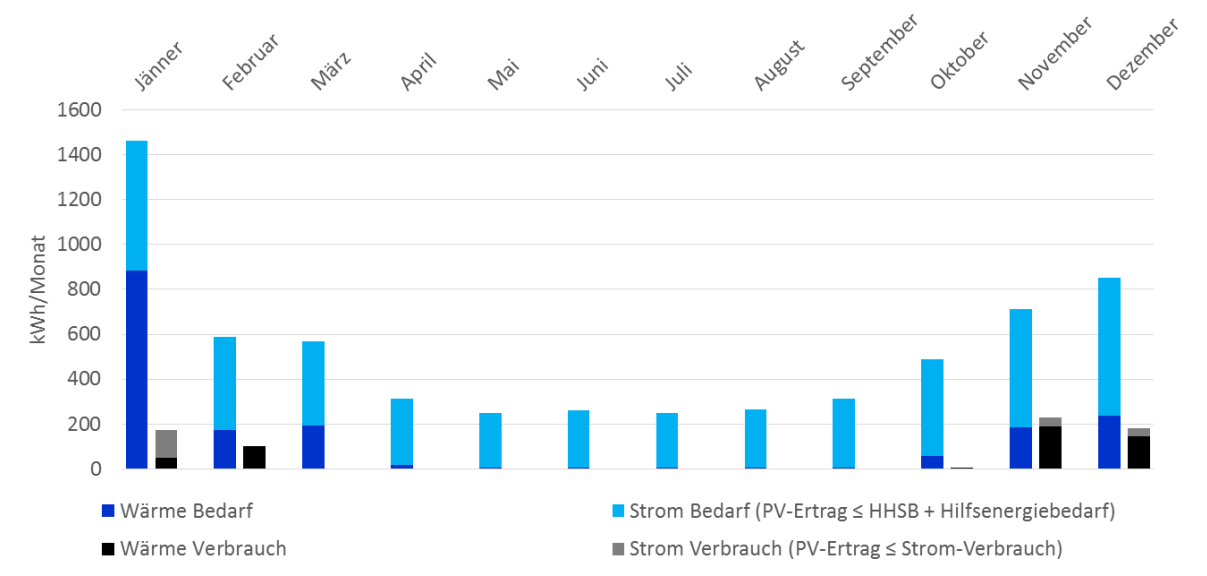


Abbildung 6.14: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch (Primärenergie) für Wärme und Strom des Einfamilienhauses, bei Eigenbedarfsdeckung des Haushaltsstrombedarfs und Hilfsstrombedarfs

[Eigene Darstellung]

In Abbildung 6.15 wurde im Vergleich zu den vorherigen Abbildungen weiters die Überschusseinspeisung berücksichtigt. Somit handelt es sich hierbei um eine komplette Bilanzierung des Ertrages der PV-Anlage.

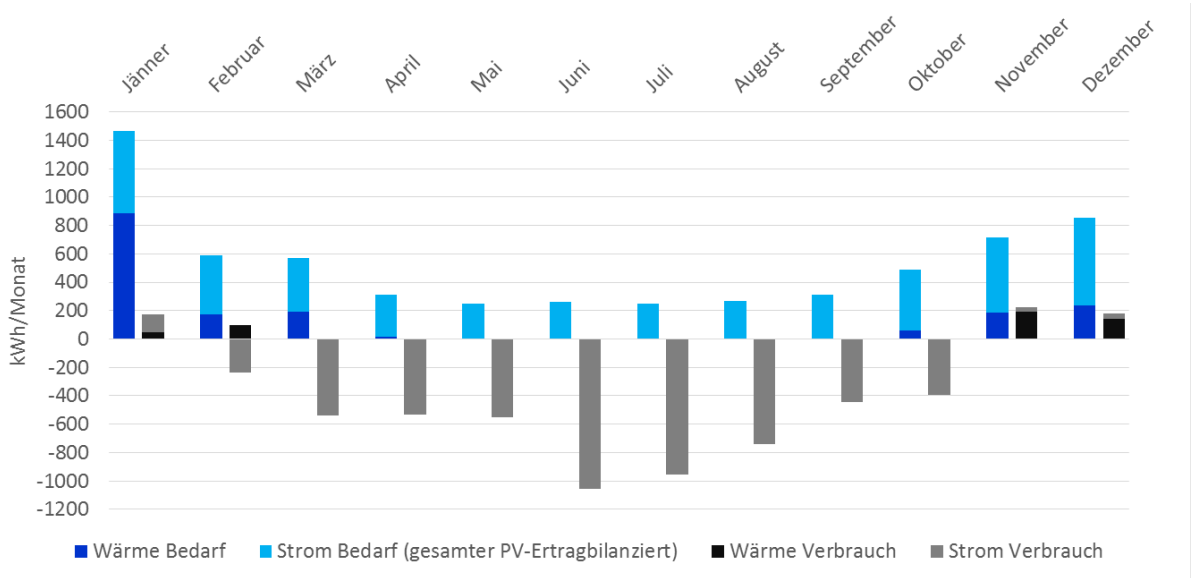


Abbildung 6.15: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch (Primärenergie) für Wärme und Strom des Einfamilienhauses, bei Eigenbedarfsdeckung des Haushaltsstrombedarfs und Hilfsstrombedarfs samt Berücksichtigung der Überschusseinspeisung

[Eigene Darstellung]

Wie aus den vorherigen Darstellungen ersichtlich sind die Abweichungen zwischen dem Bedarf und dem Verbrauch erheblich. Der Primärenergieverbrauch ist um rund 92 % geringer als der Primärenergiebedarf laut dem Energieausweis. Unter Berücksichtigung der Einspeisung von PV-Strom in das Netz ist der Primärenergieverbrauch negativ, es handelt sich somit um ein Plusenergiegebäude.

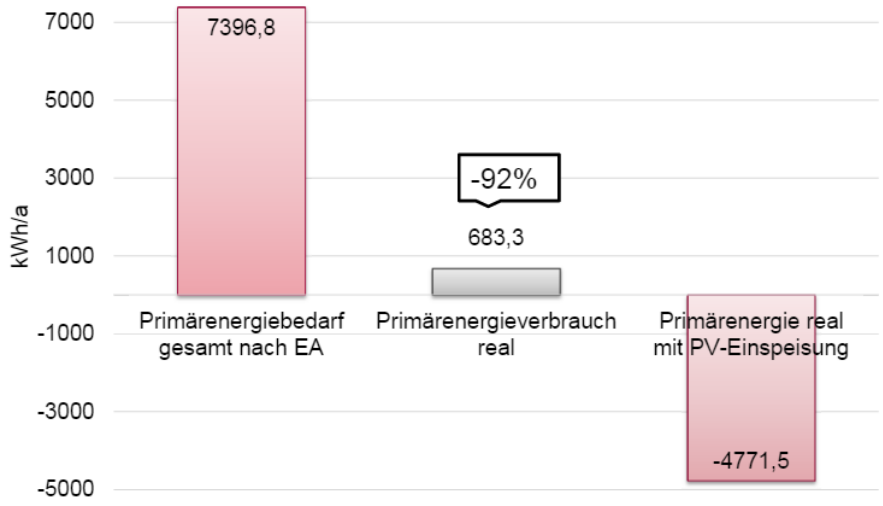


Abbildung 6.16: Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch
[Eigene Darstellung]

6.4 Conclusio

Die Analyse der alternativen Leuchtturmprojekte zeigt bis zu einem gewissen Grad die Grenzen des Energieausweises auf. Der Energieausweis ist darauf ausgerichtet eine breite Masse an Gebäuden energetisch zu bewerten. Die Erstellung des Energieausweises soll wirtschaftlich tragbar sein. Folglich wird bei der Energieausweisberechnung auf einen vereinfachten Ansatz zurückgegriffen, im Gegensatz zur Simulation. Dass somit der Energieausweis jedes individuelle Gebäudekonzept nicht genau erfassen kann, ergibt sich daraus schlüssig. Weiters ist zu berücksichtigen, dass es selbst bei einer Simulation Ungenauigkeiten gibt, da gewissen Rahmenbedingungen in der Regel nicht genau bekannt sind.

Bei Betrachtung des Energieausweises ist insbesondere bei alternativen Konzepten mitzudenken, wie der Energieausweis bilanziert und welche Eingaben möglich sind. Bspw. wird im Energieausweis der Ertrag der Photovoltaik-Anlage maximal bis zum Haushaltsstrombedarf bilanziert, Überschüssen der Netzeinspeisung werden nicht in der Primärenergiebilanz berücksichtigt. Ein weiteres Beispiel für die gewählte Simplifikation im Energieausweis ist, dass nur ein Heizsystem eingegeben werden kann, obwohl es bei Bestandsgebäuden von mehrgeschossigen Wohnbauten nicht ungewöhnlich ist, unterschiedliche Lösungen zum Heizen bei einzelnen Wohnungen zu haben.

In Summe kann die Aussage getroffen werden, dass der Energieausweis durch die Rahmenbedingungen zu Erstellung von diesen die Realität teilweise gut abbilden kann und teilweise sich erhebliche Abweichungen ergeben.

7 Neue Forschungsfelder

Im Rahmen von Kapitel 3 Wärmedämmverbundsysteme wurden unterschiedliche Dämmstoffe in Hinblick auf deren Ökologie betrachtet. Letztlich besteht ein WDVS nicht nur aus Dämmstoffen. In Folge ergibt sich ein weiterer Forschungsbedarf in Zusammenhang mit den anderen Komponenten von WDVS. So zeigte sich bei Projektmeetings und Workshops bei TeilnehmerInnen auch ein Interesse für chemischen Mittel, die zum Schutz der WDVS vor mikrobiellem Bewuchs eingesetzt werden. Insbesondere wurde angemerkt, dass die Umweltwirkungen des Biozid-Einsatzes bei Putzen und Anstrichen ein weiteres Forschungsfeld sein könnten. Weiters wurden in diesem Kapitel die Grenzen der cradle to gate – Betrachtung, des OI3-Index festgestellt. So könnte ein Folgeprojekt die Thematik cradle to grave oder sogar cradle to cradle in Hinblick auf WDVS oder allgemein Baustoffe fokussieren. Die Erweiterung der Systemgrenzen bei der Ökobilanzierung könnte gänzlich andere Ergebnisse liefern. So stellt sich die Frage, ob etwa EPS als bester ökologischer und ökonomischer Kompromiss anzusehen wäre, wenn der Rückbau und die Verwertung des Dämmstoffes in die Betrachtung miteinbezogen werden würde.

Die derzeitigen Fördermodelle berücksichtigen, bezogen auf die Ökobilanz, lediglich das Treibhauspotenzial und die Primärenergie. Hierbei könnte hinterfragt werden, ob dieser Ausschnitt die Umweltrelevanz in geeigneter Weise erfassen kann. So wäre es womöglich sinnvoll zu betrachten, ob sich bei Berücksichtigung weiterer Umweltindikatoren die Schiftung zwischen einzelnen Baustoffen erheblich verändern würde. Möglicherweise wäre es sinnvoll auch Umweltindikatoren mit regionaler Wirkung zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse beim ökologischen Vergleich unterschiedlicher Stoffe hängen in hohem Maße von den angenommen Werten ab. Es macht einen erheblichen Unterschied, ob Richtwerte von bspw. IBO für den Vergleich herangezogen werden, oder die von den Herstellern ermittelten individuellen Werte ihrer Produkte. Ein weiteres Forschungsfeld könnte darin liegen die Prozesse zur Herstellung von Bauprodukten zu betrachten. Es könnte dabei analysiert werden, welche Prozesse in Hinblick auf unterschiedliche Umweltwirkungen optimiert werden können. Wie wäre bspw. der Primärenergieinhalt von Mineralwolle, wenn bei der Produktion ausschließlich Strom von erneuerbaren Energiequellen bei der Produktion eingesetzt wird, anstatt dem Strom-Mix des jeweiligen Produktionsstandortes? Hat der Stromeinsatz bei der Mineralwolleherstellung bezogen auf den Primärenergieinhalt überhaupt eine hohe Bedeutung, oder gibt es andere Stellschrauben an welchen, bezogen auf die Reduktion des Primärenergieinhalts, bevorzugt gedreht werden sollte?

Im Rahmen des Kapitels Wärmedämmverbundsysteme wurde auch auf das Verbot des Einsatzes von HBCD als Flammschutzmittel eingegangen. Bei EPS wird nun ein anderes polymeres Flammschutzmittel eingesetzt. Ein Forschungsprojekt könnte sich mit den Umweltwirkungen dieses neuen Flammschutzmittels beschäftigen. Es ist zwar anzunehmen, dass sich die Industrie bereits

mit dieser Thematik beschäftigt hat, sonst wäre das Flammschutzmittel auch nicht zugelassen worden. Allerdings werden viele chemische Stoffe, wie auch HBCD, über Jahrzehnte eingesetzt bevor das volle Ausmaß der Umwelteinwirkungen bekannt wird. So wäre es sinnvoll, den Einsatz von neunen Produkten eingehend in unterschiedlicher Weise von voneinander unabhängigen Organisationen zu prüfen.

Bei der Analyse der 4 Mustergebäude – Break Even Point in der Sanierung wäre ein weiterer Forschungsbedarf zu erfassen, welche Auswirkungen die schrittweise Sanierung auf die Ergebnisse hat. Wird die Heizung vor dem Dämmmaßnahmen getauscht und ist für den Bedarf nach der Dämmung zu groß dimensioniert, welche Auswirkung hat dies auf die Vergleichswerte Kosten und Einsparung.

Die Auswertung der Daten der ZEUS-Datenbank liefert unterschiedliche Ergebnisse. Neben zielgerichteten Auswertungsergebnissen, konnte auch festgestellt werden, dass gewisse Grenzen bei der Datenanalyse gegeben sind. Im Rahmen der Analysen konnten Ergebnisse erlangt werden, die der Weiterentwicklung der Datenbank hinsichtlich ihrer statistischen Auswertbarkeit dienen können. Selbst wenn all diese Erkenntnisse, bei der nächsten XML-Version berücksichtigt werden, bedeutet das nicht, dass die Datenbank ihre Entwicklung abgeschlossen hat und einfach auswertbar ist. In Zukunft wäre es sinnvoll, die Datenbank weiter zu analysieren um weitere Grenzen und Probleme bei der Auswertung festzustellen. Jede Veränderung in der Datenbank geht mit Potenzialen zur Datenauswertung und mit der Möglichkeit einher, Ergebnisse zu erzielen, die der Politik als Entscheidungsparameter dienen können.

Im Rahmen von Kapitel 6 wurden alternative Leuchtturmkonzepte hinsichtlich ihrer Darstellbarkeit im Energieausweis betrachtet. Die Analyse der Daten zeigt ihre Grenzen, da das Nutzerprofil nicht bekannt ist. Aussagekräftige Ergebnisse können nur geliefert werden, wenn bestimmte Nutzergewohnheiten bekannt sind. So wäre es notwendig zu wissen, welche Innentemperaturen tatsächlich im Gebäude vorherrschen und wann Warmwasser von den Zapfstellen entnommen wird. In Folge wäre eine Analyse der Darstellbarkeit von bestimmten Alternativen Leuchtturmkonzepten im Energieausweis nur in Verbindung mit einem umfassenden Monitoring zielführend. Dass gewisse Konzepte nicht vom Energieausweis wahrheitsgetreu erfasst werden können, konnte allerdings bereits im Rahmen des Projekts ermittelt werden.

Das Kapitel 8 Qualitätssicherung in der Sanierung beschäftigt sich mit der Erstellung eines Tools zur Qualitätssicherung in der Sanierung. Die dabei entwickelte Broschüre erläutert unterschiedliche Maßnahmen im Bau- und Haustechnikbereich und ist als ein Auszug von üblichen Sanierungsmaßnahmen anzusehen. Auf äußerst spezifische, oder weniger verbreitete Stoffe und Ausführungen wurde dabei nicht eingegangen. Eine Weiterführung der Broschüre könnte kaum angewandte, innovative Maßnahmen miterfassen. Neben der Broschüre wurde im Rahmen dieses Kapitels die „Funktionale Beschreibung“ entwickelt. Damit diese funktionalen Beschreibungen

zielgemäß die Qualität in der Ausführung sichern und den Bauherrn bei der Angebotseinholung unterstützen, ist eine Evaluierung und die Implementierung eines kontinuierlicher Bewertungs- und Verbesserungsprozess notwendig.

8 Qualitätssicherung in der Sanierung

Die Sicherung der Qualität ist ein zentraler Aspekt bei sämtlichen Bauprozessen. Je komplexer das Bauvorhaben ist, desto mehr Beteiligte und Systeme sind zu berücksichtigen. Weiters ist es mit steigender Komplexität schwieriger die Qualität samt den zugehörigen Kriterien erfassbar zu machen. Entsprechend ist es von Bedeutung, dass dem Endkunden bzw. dem Nutzer Möglichkeiten zu Verfügung gestellt werden, um festzustellen, wie Qualität nach dem Stand der Technik zu definieren ist. Von Bedeutung ist, dass die ausführende Partei das Qualitätsverständnis des Endkunden teilt. Ziel ist es, einen Prozess zu entwickeln, der zentrale Qualitätskriterien bei der Sanierung charakterisiert und prüfbar macht.

8.1 Broschüre „Sanieren heute – Wegweiser zum Niedrigstenergiehaus“

Im Zuge des Forschungsprojektes wurde die Broschüre „Sanieren heute – Wegweiser zum Niedrigstenergiehaus“ erstellt. Als Basis dienten die bestehenden Broschüren „Energieratgeber“ und „Vom Althaus zum Niedrigenergiehaus“ der Energieberatung. Die vorhandenen Unterlagen wurden analysiert und beurteilt. Inhalte, welche im Einklang mit dem inhaltlichen Ziel der neuen Broschüre standen, wurden übernommen und auf den aktuellsten Stand gebracht. Fehlende Aspekte wurden aufgegriffen und in der neuen Broschüre behandelt. Der Fokus der neuen Broschüre liegt in der Sanierung. „Sanieren heute – Wegweiser zum Niedrigstenergiehaus“ wird nun von der Energieberatung eingesetzt und ist eng mit dem Beratungstool der Energieberatung GEQ EBS verknüpft. So finden sich in der Broschüre dieselben Qualitätskriterien für Haustechnikanlagen, wie beim GEQ EBS-Tool.

Die Broschüre beinhaltet sowohl das Themengebieten Haustechnik als auch Bautechnik. Der Fokus liegt dabei in der Sanierung von bestehenden Gebäuden. Zu Beginn werden grundlegende Begriffe definiert und es wird erläutert, weshalb Sanierungen sinnvoll sind, sowie wie der optimale Sanierungsablauf.

Das zweite Kapitel beschäftigt sich mit dem Themengebiet Bautechnik. Dabei werden am Anfang zentrale Erkenntnisse der Bauphysik erörtert. Danach folgt ein Abschnitt über Dämmmaterialien, der sich insbesondere mit ihren physikalischen und ökologischen Eigenschaften beschäftigt. Nach den allgemeinen Grundlagen über das Sanieren folgen konkrete Erklärungen, wie unterschiedliche Bauteile ordnungsgemäß gedämmt werden sollen. Da Sonnenlichteinstrahlung bei jedem Wohngebäude von Bedeutung ist, wird die Thematik Fenster und Sonnenschutz ebenfalls ausführlich erläutert. Weiters wird im Rahmen der Bautechnik die Ausführungsqualität mit dem Fokus auf Wärmebrücken sowie Luft- und Winddichtheit behandelt.

Im dritten Kapitel wird die Haustechnik beschrieben. Hier finden sich neben allgemeinen Informationen zu Heizsystemen und Kesseltausch, genaue Erläuterungen zu unterschiedlichen Heizungsanlagen. Für sämtliche Heizungsanlagen werden Kriterien festgelegt, welche dem Stand der Technik entsprechen und der Qualitätssicherung dienen. Neben den Heizungsanlagen werden im Rahmen dieses Kapitels auch Lüftungstechnologien behandelt. Ebenso wird die Erzeugung elektrischer Energie mit Photovoltaik-Anlagen erläutert.

Weiters finden sich in der Broschüre Informationen zu Energiesparmaßnahmen, welche ohne hohen Aufwand möglich sind und Informationen zu Förder-und Beratungsstellen.

Das Cover und das Inhaltsverzeichnis der entwickelten Broschüre ist in Abbildung 8.1 ersichtlich. Neben einer Printversion ist die neuen Broschüre auch online verfügbar: http://www.salzburg.gv.at/sanieren_heute.pdf

Inhalt

1 Größere Renovierung 5
1.1 Warum sanieren? 6
1.2 Der Weg zum Niedrigstenergiehaus 7
1.3 Sanierungsablauf 7
1.3.1 Bestandsanalyse 8
1.3.2 Sanierungsziele und Sanierungskonzept 9
1.3.3 Angebotseinholung und -vergleich, Beauftragung 10
1.3.4 Sanierungsumsetzung 10
1.3.5 Fertigstellung und Abnahme 10
2 Bautechnik 11
2.1 Wärmedämmung 12
2.1.1 Dämmmaterialien 13
2.1.2 Alternative Dämmstoffe 15
2.1.3 Dämmstärken 16
2.2 Dämmung und Gebäudehülle 17
2.2.1 Außenwanddämmung 18
2.2.2 Dachdämmung 22
2.2.3 Deckendämmung 24
2.3 Fenster und Sonnenschutz 25
2.3.1 Fensterverglasung 25
2.3.2 Randverbund 26
2.3.3 Fensterrahmen 26
2.3.4 Einbausituation 27
2.3.5 Rollläden 27
2.3.6 Verschattung 28
2.4 Ausführungsqualität 28
2.4.1 Wärmebrücken 28
2.4.2 Luft- und Winddichtheit 29
3 Haustechnik 31
3.1 Heizungsanlagen 32
3.1.1 Wärmepumpe 34
3.1.2 Pellets-Zentralheizung 37
3.1.3 Pellets-Einzelofen 37
3.1.4 Kachelofen-Ganzhausheizung 38
3.1.5 Stückholzheizung mit Pufferspeicher 39
3.1.6 Hackschnitzelheizung 39
3.1.7 Nah-/Fernwärme erneuerbar 40
3.1.8 Brennwerttechnik für Öl und Erdgas 41
3.1.9 Stromheizung 41
3.2 Energie aus der Sonne 42
3.2.1 Thermische Solaranlagen 42
3.2.2 Photovoltaik 45
3.3 Lüftungstechnik 46
3.3.1 Komfortlüftung 46
3.3.2 Abluftanlagen 48
3.3.3 Dezentrale Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung 48
3.3.4 Fensterlüftungstechnologien 49
4 Einfache Energiesparmaßnahmen 51
4.1 Heizkosten sparen 52
4.2 Strom sparen 53
4.3 Warmwasser sparen 60
4.4 Energieverbrauch überwachen 61
4.5 Schimmel im Wohnbereich 61
5 Weiterführende Informationen 65
5.1 Förder- und Beratungsstellen im Überblick 66
5.2 Energieberatung Salzburg 66

Abbildung 8.1: Cover und Inhaltsverzeichnis der Broschüre „Sanieren heute – Wegweiser zum Niedrigstenergiehaus“ http://www.salzburg.gv.at/sanieren_heute.pdf

8.2 Funktionale Beschreibung

Als weiterer Schritt für die Qualitätssicherung in der Sanierung, wurde im Rahmen des Projekts die sogenannte „Funktionale Beschreibung“ entwickelt. Als funktionale Beschreibung werden Textbausteine verstanden, die den Bauherrn bei der Erstellung von Ausschreibungsunterlagen unterstützen sollen. Die Abgrenzung zu einer funktionalen Ausschreibung liegt darin, dass die funktionale Beschreibung mehr generell abstrakt gestaltet ist. Die funktionale Beschreibung leitet sich von Prozessschritten und Logiken ab, welche bei der Sanierung zu beachten sind.

Definition für Funktionale Beschreibung, übernommen von Neumann (2016):

„Die Funktionale Beschreibung orientiert sich an der funktionalen Ausschreibung, also der Ausschreibung mit funktionaler Leistungsbeschreibung. Im Wesentlichen wird wie in der funktionalen Leistungsbeschreibung nicht in einzelnen Leistungspositionen ausgeschrieben, sondern das fertige Gewerk, das schlussendlich das Ergebnis der Leistung darstellt, möglichst genau in Funktion, Form und Qualität beschreiben. Auch hier gilt, je detaillierter und genauer die Beschreibung ausfällt, desto vergleichbarer und vertragssicherer ist das Angebot. Wird die Beschreibung jedoch zu umfangreich, steigt der Aufwand für Ausschreibung und Angebotslegung erheblich. Außerdem werden die Beschreibungen dadurch unübersichtlich und es besteht die Gefahr, dass Auftragnehmer aufgrund des zur Leistung unproportional höheren Aufwands der Angebotslegung keine Angebote stellen oder erhöhte Preise verlangen.

Die Funktionale Beschreibung soll daher nur so tief ins Detail gehen, als es notwendig ist ohne jedoch zu überfordern. Sie soll im Gegensatz zur funktionalen Ausschreibung sehr abstrakt gehalten werden, um sie vielseitig einsetzen zu können. Die Grundlage der funktionalen Beschreibung stellt einen automatisierten Prozess dar, dem Textbausteine zugeordnet sind. Der Prozess definiert automatisch aufgrund der eingegebenen Parameter im Energieausweis, welche Textbausteine verwendet werden und setzt gegebenenfalls benötigte Werte ein. Dadurch wird eine detaillierte und individuelle Beschreibung des Gewerks ermöglicht ohne einen Aufwand für den Auftraggeber zu erzeugen.

Ein weiterer wesentlicher Faktor ist die rechtliche Einordnung der funktionalen Beschreibung. Sie soll, im Gegensatz zur funktionalen Leistungsbeschreibung, keine Ausschreibung im rechtlichen Sinne darstellen, da sie nicht von Fachplanern oder anderen Sachverständigen erstellt wird, sondern durch einen automatisierten Prozess generiert wird, der auf den Eingaben des Energieaus-

weiserstellers aufbaut. Im Wesentlichen handelt es sich daher um das Ausschließen von Haftungen für den Energieberater.“

Neben Arbeiten im Projekt haben sich drei Bachelorarbeiten (Eibl 2016, Neumann 2016 und Staubmann 2016) mit unterschiedlichen Fragestellungen zur Entwicklung einer Funktionalen Beschreibung beschäftigt. Behandelt wurden dabei die Themengebiete Kellerdeckendämmung, Außenwanddämmung, Fenstertausch und Implementierung eines neunen Heizungssystems mit Biomasse. Neben diesen Themen gibt noch eine Vielzahl anderer Gebiete, welche in ähnlicher Form aufgearbeitet werden können. Wenn auch nicht für sämtliche Sanierungstätigkeiten funktionale Beschreibungen entwickelt worden sind, konnte ein Eindruck der Grenzen und Möglichkeiten im Rahmen des Projekts gewonnen werden. Nähere Informationen finden sich in den jeweiligen Bachelorarbeiten.

Abbildung 8.2. Beispiel Funktionsschema für die funktionalen Beschreibungen
Modifiziert übernommen von [Neumann 2016]

Ziel ist es, dass die funktionalen Beschreibungen automatisiert erstellt werden können und dadurch direkt seitens der sanierungswilligen Gebäude-, bzw. Wohnungsbesitzer genutzt werden können um Angebote einzuholen.

9 Verschattung

In diesem Kapitel geht es um die bauliche Verschattung durch andere Gebäude, Geländebeschaffenheit, Bauteilüberstände und dergleichen. Die Verschattung durch bewegliche Sonnenschutzeinrichtungen wurde hier nicht behandelt. Das Thema Verschattung wird in allen Normen, die sich mit Heizung, Kühlung, Energieeffizienz bzw. sommerliche Überwärmung auseinandersetzen, behandelt.

9.1 Derzeitige normierte Berechnungsverfahren

Die österreichischen Norm ÖNORM B 8110-3 2012 für sommerliche Überwärmung setzt dabei auf eine stündliche Berechnung eines Tages mit einem fixen Verschattungsfaktor. Dieser Faktor wird entweder aus der ÖNORM EN ISO 13791 2012 oder aus der ÖNORM B 8110-6 2014 bestimmt.

Für den Wärmeschutz, in der ÖNORM B 8110-6 2014, wird es dem Anwender überlassen, das Monatsbilanzverfahren detailliert oder vereinfacht zu berechnen. Bei der vereinfachten Berechnung wird für Ein-, Zweifamilien- und Reihenhäuser ein Pauschalwert von 0,85 für den Heizfall angenommen. Bei allen anderen Gebäudetypen liegt dieser Wert bei 0,75. Beim Kühlfall wird 1,0 verwendet, folglich wird vereinfacht von keiner Verschattung ausgegangen.

Beim Heizfall sorgen die vereinfachte Berechnung und die Pauschalwerte zurzeit für rege Diskussionen in den Entscheidungsgremien. Diese Pauschalwerte sind für viele Lagen zu hoch angesetzt und ein niedriger Heizwärmebedarf ist das Ergebnis. Über einem HWB von 15 kWh/m².a ist es der Berechnenden freigestellt die vereinfachte oder detaillierte Berechnung zu verwenden. Ist der HWB kleiner wird die detaillierte Berechnung obligat, da für energieeffiziente Bauten der Betrag der solaren Gewinne einen erheblichen Anteil ausmacht. Hier werden die Faktoren mit den Tabellen aus der ÖNORM B 8110-6 2014 bzw. ÖNORM EN ISO 13790 2008 die Horizont-, Überhangverschattung sowie die Verschattung aus seitlichen Überständen bestimmt.

Ein weiteres Berechnungsmodell für die Verschattung findet sich im PHPP 2007. Dieses Modell wurde für Passivhäuser entwickelt. Bei diesen Gebäuden ist eine detaillierte Eingabe der Verschattung Pflicht, um die Passivhauskriterien erfüllen zu können. Beim Passivhausprojektierungspaket wird auch auf Monate bilanziert.

In der DIN V 18599-2 2016 sind, wie in der ÖNORM EN ISO 13790 2008 und der ÖNORM B 8110-6 2014 Tabellen für die drei Verschattungskategorien dargestellt.

Generell werden, um auf den resultierenden Verschattungsfaktor zu kommen, bei allen Rechenverfahren die Teilfaktoren multipliziert.

Ein Vergleich der detaillierten Verschattung von PHPP 2007, EN ISO 13790 und DIN V 18599-2 der

verschiedenen Berechnungsarten findet sich in Rosenberger et al 2013 bzw. auf in Abbildung 9.1., wobei hier die aktuellen Werte und die Werte der ÖNORM B 8110-6 2014 auch dargestellt wurden.

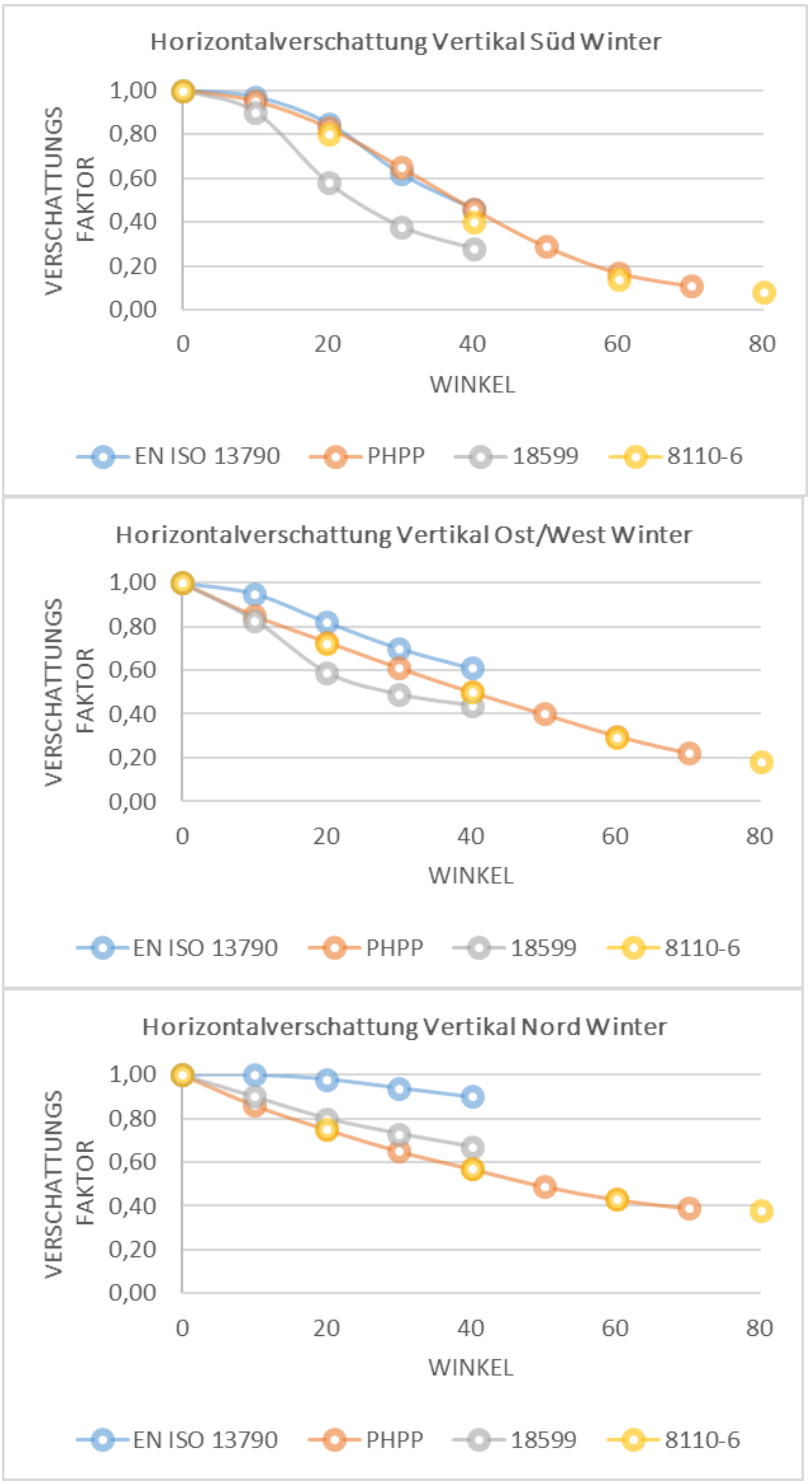


Abbildung 9.1. Vergleich verschiedener Verschattungsberechnung anhand einer vertikalen Fassade mit den Ausrichtungen Süd, Ost/West und Nord

[Eigene Darstellung]

Dieser Vergleich zeigt teilweise große Unterschiede zwischen den einzelnen Berechnungsarten auf. Lt. Rosenberger et al 2013 liegt das an folgenden Punkten:

- Verschieden starke Annahmen der Reflexion
- Verschattung der Diffusstrahlung nicht berücksichtigt
- In der DIN V 18599 2016 und der ÖNORM EN ISO 13790 2008 werden nur Winkel bis 40° berücksichtigt. Folglich gibt es keine Faktoren um innerstädtische Bebauungen zu berücksichtigen.

Die Faktoren in PHPP 2007 und der ÖNORM B 8110-6 2014 sind sehr ähnlich.

Einige Softwarehersteller bieten mittlerweile für den Energieausweis eine dreidimensionale Eingabe an, die es ermöglicht die detaillierte Verschattung nach ÖNORM B 8110-6 2014 direkt für die Berechnung zu übernehmen.

In dieser Untersuchung ist klar ersichtlich, dass die detaillierte Verschattung für die Monatsbilanzverfahren sehr unterschiedliche Werte aufweist. Um die Verschattung zukünftig genau abbilden zu können, ist es nötig, stundenbasierte Berechnungsalgorithmen zu verwenden.

Die ÖNORM EN ISO 13790 2008 lässt den Anwendern offen, auf Stundenbasis zu rechnen. Dies wird mittels dem Anteil der direkten Strahlung auf die Fassade zu dem Anteil an der Gesamtstrahlung auf die Fassade stündlich berechnet.

In allen anderen Verfahren werden keine stundenbasierten Verschattungen behandelt.

9.2 Solar Design Tools

In Horvat et al 2012 wurden einfache graphische Diagramme sowie 19 verschiedene Software-Programme hinsichtlich ihrer Eignung für Planungstools für solares Bauen und Tageslichtabschätzung geprüft.

9.2.1 Einfache graphische Sonnendiagramme

Mit einfachen Sonnenbahndiagrammen, wie in Abbildung 9.2 kann schnell und einfach die Besonnung eines Gebäudes bzw. deren Gebäudeteile über ein Jahr abgeschätzt werden.

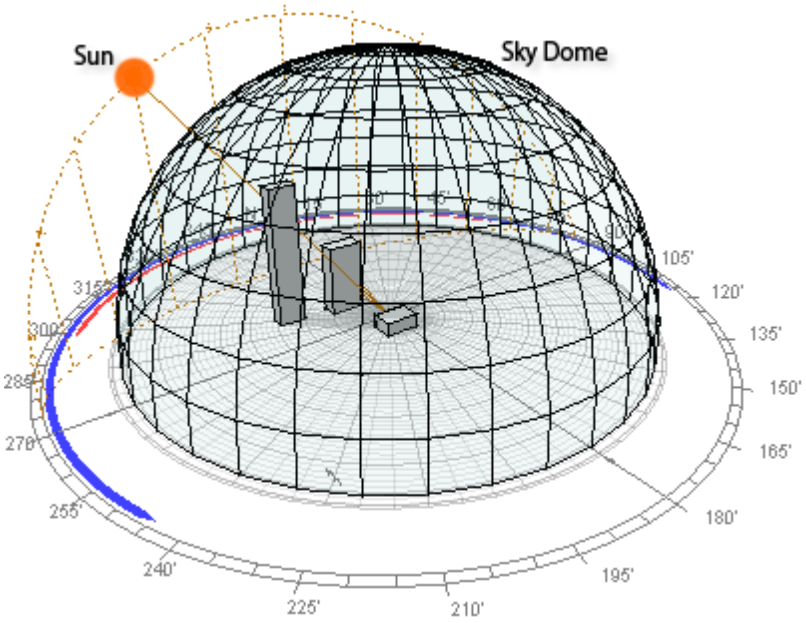


Abbildung 9.2. Dreidimensionales Sonnenstandsdiagramm aus der Software Ecotect
[Marsh 2007]

Im Projekt PVGIS (c) European Communities, 2001-2012 wurden für jeden Standort in Europa die Sonnenhöhen am 21.12 und 21.6 sowie der Umriss des Horizonts abgebildet. In Abbildung 9.3 ist der Umriss des Horizonts für den Campus der FH Salzburg ersichtlich. Auch mit diesem Diagramm kann man die Verschattung zu verschieden Jahreszeiten am Grundstück abschätzen.

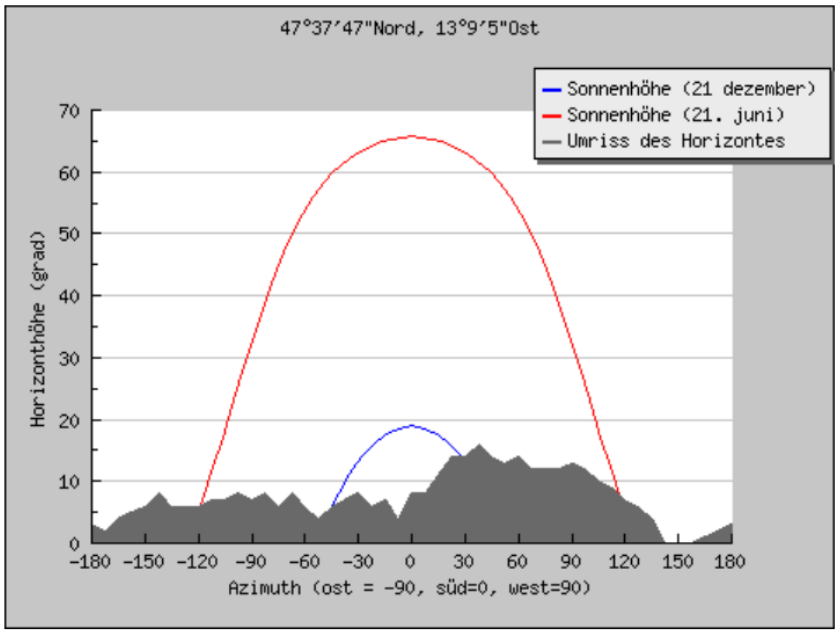


Abbildung 9.3. Verlauf des Horizonts mit Sonnenlauf für Winter und Sommer für den Standort der FH Salzburg am Campus Kuchl
[PVGIS (c) European Communities, 2001-2012]

Werden die Informationen aus Abbildung 9.3 und Abbildung 9.4 übereinander gelegt, können noch genauere Aussagen für das Grundstück getroffen werden.

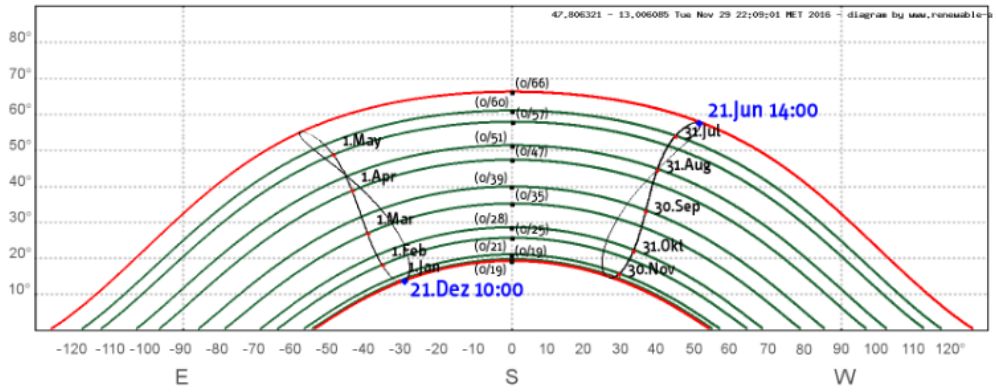


Abbildung 9.4. Sonnenstandsdiagramm für Salzburg
[BMU 2016]

Sonnenstandsdiagramme und Horizontabschätzungen sind ideal um einen ersten Eindruck von der Besonnung des Grundstücks und des gesamten Gebäudes zu bekommen. Um genaue Informationen hinsichtlich Verschattung von einzelnen Fenstern zu erhalten sind physikalische Modelle, wie z.B. ein künstlicher Himmel, bzw. CAD-Softwareprogramme unerlässlich.

9.2.2 CAD - Softwareprogramme

In Horvat et al 2012 werden eine Vielzahl von Softwarelösungen inklusive Vor- und Nachteile hinsichtlich solarer Planung von Gebäuden dargestellt.

Manche Programme erlauben rein quantitative Ausgaben. Andere Softwareprogramme berechnen die Einstrahlung plus Sonnenstunden auf jede Fläche des untersuchten Objektes. Weiterführend können auch energetische Bilanzen erstellt werden. In den folgenden Abbildungen sind ein paar Eindrücke aus Horvat et al 2012 zusammengefasst. Gebäudesimulationsprogramme wie z.B.: IDA ICE, Trnsys und Energy Plus bilden natürlich auch die bauliche Verschattung ab.

Die Behandlung der Verschattung in Wohnungen wird immer wichtiger. In Deutschland werden lt. Lung 2015 vermehrt Verschattungsprognosen in Auftrag gegeben. Diese Prognosen werden meist mit der DIN 5034-1 2011. In dieser Norm empfiehlt eine Mindestbesonnungsdauer von einer Stunde am 17.01 und von vier Stunden am 21.3 und 23.9. Diese Besonnungsdauer kann mittels CAD-Programmen errechnet werden.

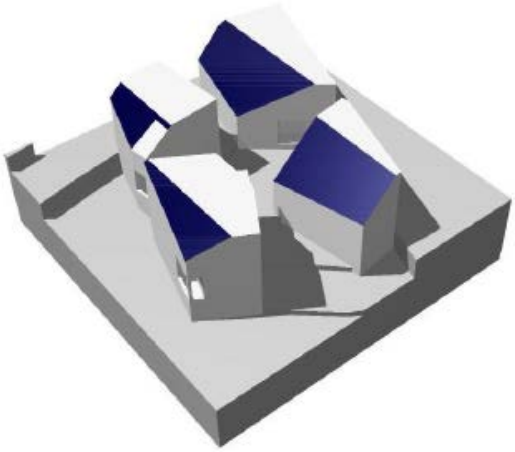


Abbildung 9.5. Verschattungsstudie in ArchiCad
[Horvat et al 2012]

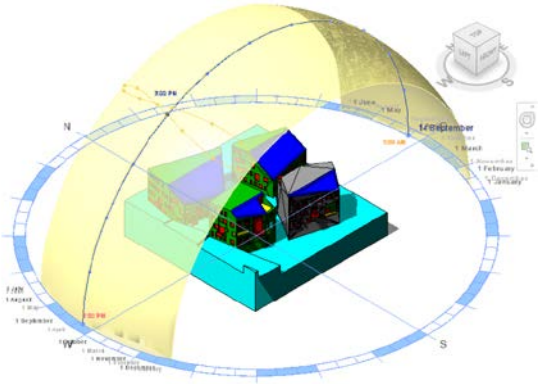


Abbildung 9.6. Verschattungsstudie in Autodesk Revit Architecture 2012
[Horvat et al 2012]

Abbildung 9.7. Verschattungsstudie in VectorWorks
[Horvat et al 2012]

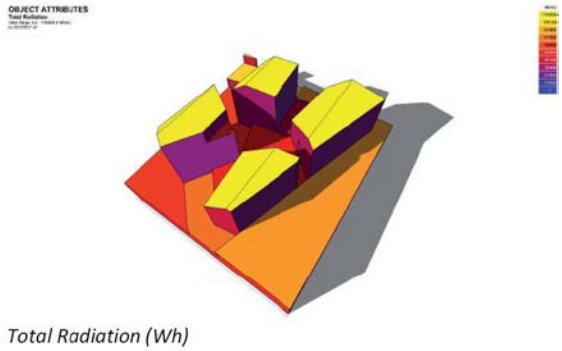


Abbildung 9.8. Totale Einstrahlung in Autodesk Ecotect
[Horvat et al 2012]

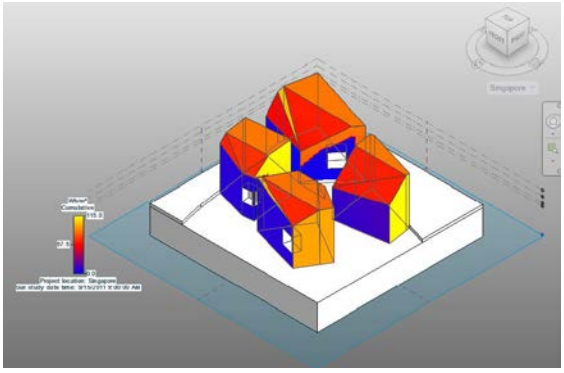


Abbildung 9.9. Totale Einstrahlung in Autodesk Project Vasari 2.1
[Horvat et al 2012]

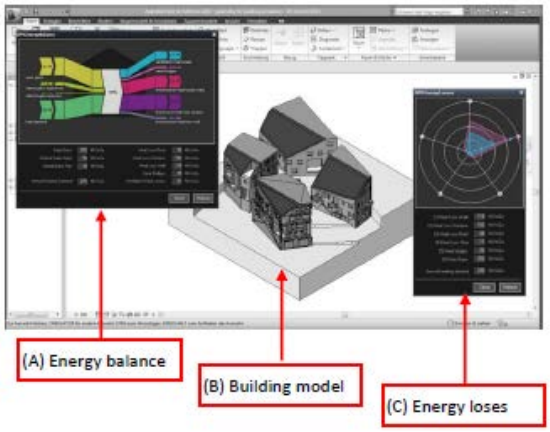


Abbildung 9.10. Berechnungsergebnis Design Performance Viewer
[Horvat et al 2012]

Ergebnis der Simulationen ist pro Fenster eine Verschattungssilhouette wie in Abbildung 9.11

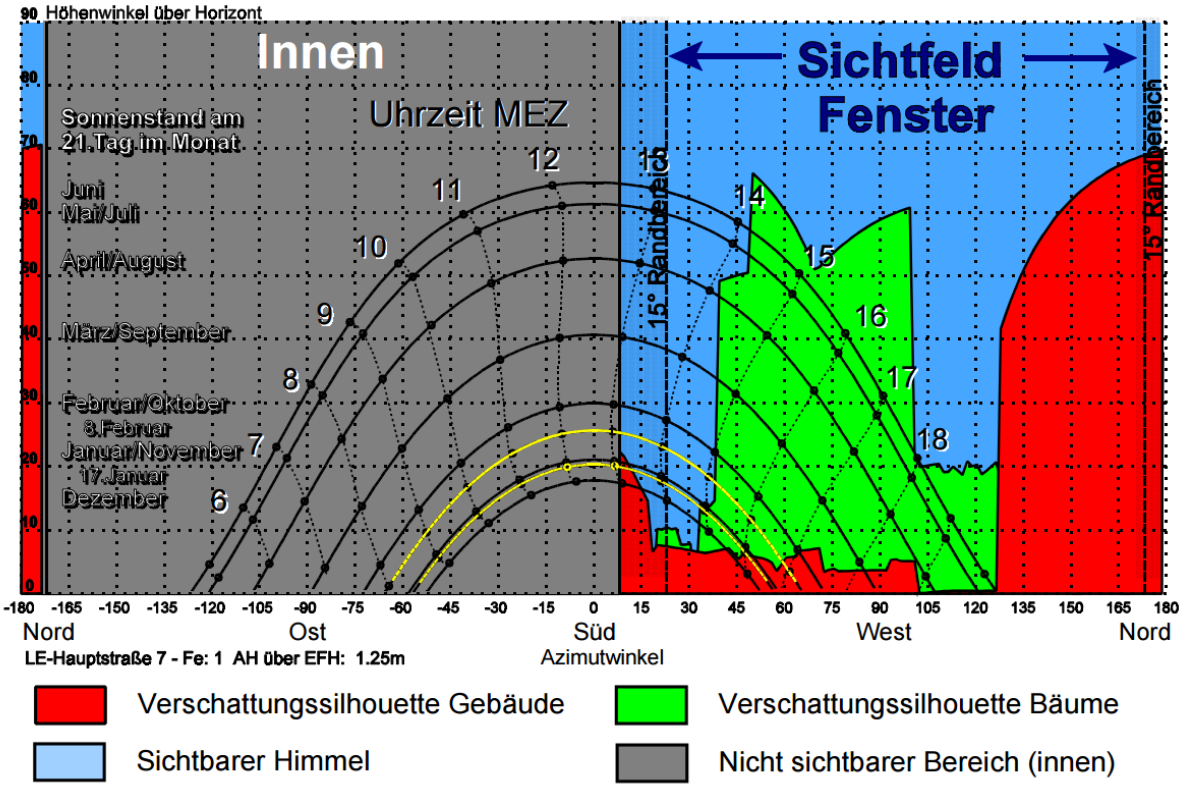


Abbildung 9.11. Beispiel-Verschattungssilhouette eines Raumes
[Goretzki 2010]

Anhand dieser Verschattungssilhouette kann zu jeder Tageszeit, inklusive der zugehörigen Jahreszeit, die Besonnungsstunden vorausgesagt werden.

9.2.3 Berechnungsalgorithmen

Der Sonnenstand kann mit verschiedenen Methoden bzw. Quellen berechnet werden. (Perez et al 1990, Meeus 1998) Generell wird für den Algorithmus in Polygonbasierten und Raytracing Methoden unterschieden. Diese Verfahren wurden generell schon in Walton 1979 beschrieben. Weitere Adaptierungen und Weiterentwicklungen sind in diesen Veröffentlichungen zu finden: Winkelmann 2001, Nielsen 2005, Gladt et al 2013.

10 Dissemination

Für die Dissemination und den Wissenstransfer wird im Projekt eine, mit den Partnern abgestimmte, Agenda umgesetzt. In diesem Kapitel werden die Forschungsergebnisse und vor allem Schlüsselerkenntnisse von Seiten der FH- Salzburg, zusätzlich zu dem Bericht, in 2 Workshops pro Jahr im Förderzeitraum (in Summe 4 Workshops) aufbereitet, vorgestellt und diskutiert, um einen entsprechenden breiten Transfer in Richtung Wirtschaft zu erreichen. Die genaue Konzeption der Workshops erfolgte gemeinsam mit den Projektpartnerinnen und –partnern.

Die wissenschaftliche Dissemination ist über Publikationen und Konferenzen geplant. Ein weiterer Mehrwert liegt in der Dissemination der Ergebnisse und Verwendung der Abfragelogik der verschiedenen Konzepte in der Lehre am Studiengang Smart Building der FH Salzburg.

Bei der Durchführung der vier Workshops wurde eine Anpassung in Einklang mit den Kooperationspartnern vereinbart. Grund hierfür war, dass innerhalb des ersten Jahres nicht ausreichend Endergebnisse vorhanden waren damit die Abhaltung eines Workshops zielführend gewesen wäre. Die vier Workshops wurden innerhalb des zweiten Jahres abgehalten. Der erste Workshop fand im Zusammenhang mit dem Symposium Alpines Bauen am 01.10.2015 statt. Dabei konnte eine breite Masse an interessierten Personen erreicht werden. Der zweite Workshop wurde am 09.12.2015 bei der Bauakademie durchgeführt. Im Rahmen eines „Expertenfrühstücks“ wurden unterschiedliche Ergebnisse des Projektes diskutiert. Ziel der Diskussion war es andere Betrachtungswinkel auch zu berücksichtigen. Die Einladungen für diese Veranstaltung wurden an den Verteiler des „Runden Tisch“ übermittelt. Dadurch soll es ermöglicht werden, dass Vertreter der gesamten Salzburger Bauindustrie die errungenen Erkenntnisse vorgelegt werden und von diesen ein Feedback erhalten wird, welches in der weiteren Bearbeitung des Projekts noch berücksichtigt wurde. Als dritter Workshop fand eine Veranstaltung in Kooperation gemeinsam mit dem Umweltservice im Mai 2016 statt. Unter dem Titel „Ökologie vs. Ökonomie – Konflikte und Chancen bei der Dämmstoffwahl“ wurden Ergebnisse aus Kapitel 3 Wärmedämmverbundsysteme präsentiert und mit dem Publikum diskutiert. Der vierte Workshop fand im Rahmen des Symposiums Alpines Bauen 2016 statt. Im Oktober 2016 wurden dabei Ergebnisse von 4 Mustergebäude – Break Even Point in der Sanierung und Kapitel 5 Big Energy Data dem Publikum näher gebracht.

Neben diesen vier Workshops fanden laufend auch wissenschaftliche Publikationen statt. Projektergebnisse wurden bei unterschiedlichen nationalen und internationalen Konferenzen präsentiert und ein Artikel in der österreichischen Bauzeitung publiziert.

Ein Überblick über die Konferenzen und Fachvorträgen findet sich nachfolgend:

- Ökosan15: http://92.51.135.235/aee-intec/oekosan15/index.php/de/
- Artikel Bauzeitung: http://issuu.com/wirtschaftsverlag/docs/bauzeitung_1715/21?e=3737764/15333578
- Fachsymposium Alpines Bauen 2015, https://www.itg-salzburg.at/de/standortentwicklung/alpines-bauen/fachsymposium-2015
- e-nova: http://www.fh-burgenland.at/forschung/e-nova-2015/
- BauZ!: http://www.bauz.at/
- 10 Jahre Energieausweis: http://www.oegut.at/de/mitglieder-events/2016/04/10-jahre-energieausweis.php
- Talk for Experts:. http://www fh-salzburg.ac.at/disziplinen/ingenieurwissenschaften/master-smart-cities/aktuelles/news-archiv/details/article/smart-buildingsmart-cities-talks-for-experts-1/
- Sustainable Environment Regional Conference 2016: http://www.sbe16.ethz.ch/
- International Conference Renewable Energy & Innovation Technologies, http://tk-smolian.eu/index.php?id=233
- Fachsymposium Alpines Bauen 2016: https://www.itg-salzburg.at/veranstaltung/brennpunkt-alpines-bauen-2016-121

11 Schlussbetrachtung und Ausblick

Beim Projekt „Alternative Wege zum Nullenergiehaus“ handelt es sich um ein sehr breit gefächertes Thema mit dem Fokus auf Sanierung. Im Rahmen unterschiedlicher Arbeitspakete wurden Wärmedämmverbundsysteme näher betrachtet, der „Break Even Point in der Sanierung“ gesucht, die Energieausweise der ZEUS-Datenbank ausgewertet, die Darstellbarkeit alternativer Leuchtturmkonzepte im Energieausweis analysiert, Schritte in Richtung Qualitätssicherung in der Sanierung wurden gesetzt und neue Forschungsfelder wurden aufgezeigt.

Zentrale Ergebnisse vom Kapitel 3 Wärmedämmverbundsysteme sind, dass die Wärmeleitung und Wärmespeicherfähigkeit von Außenwänden für die Tauwasserbildung von zentraler Bedeutung ist. Mit zunehmender Dämmstoffstärke erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einer Unterkühlung der Außenoberflächenschicht unter die Taupunkttemperatur kommt. Grundlegend dafür sind einerseits die geringe Wärmeleitfähigkeit der Außenwand und andererseits die unzureichende Wärmenachlieferung von innen nach außen. Von der Tauwasserbildung sind vor allem WDVS betroffen, insbesondere jene Systeme mit Dämmstoffen mit geringer Wärmespeicherfähigkeit, wie etwa expandiertes Polystyrol.

Weiters konnte festgestellt werden, dass das Recycling von Dämmstoffen von WDVS durch den Materialverbund deutlich erschwert wird. Derzeit stellt dies noch kein Problem dar, da der anfallende Abfall von WDVS noch gering ist. Alte WDVS werden im Zuge der Sanierung meist nicht rückgebaut sondern aufgedoppelt. Mit einem erheblichen Anstieg der WDVS-Abfälle ist künftig zu rechnen, wenn Gebäude aus den Anfangszeiten der Verwendung von WDVS das Ende ihres Lebenszyklus erreichen und abgebrochen werden.

Bei Betrachtung der Ökologie von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen zeigt sich, dass diese Dämmstoffe oftmals synthetische Bestandteile beinhalten. So werden bei der Herstellung von Holzfaserdämmplatten im Trockenverfahren Kunstharze als Bindemittel eingesetzt. Bei Hanffaserdämmplatten, welche für WDVS eingesetzt werden, werden Bikopolyesterfasern eingesetzt. Bezogen auf den OI3-Index liefert Kork ein sehr gutes Ergebnis. Allerdings muss im Zusammenhang mit Kork bedacht werden, dass die Korkeichenbestände nur in wärmeren Klimaregionen vorzufinden sind und in Mitteleuropa nicht angebaut werden können. EPS-F ist, bezogen auf den ΔOI3, als zweit-ökologischster Dämmstoff im Vergleich einzustufen. Die Systemgrenzen bei dieser Betrachtung sind cradle to gate, bei der OI3-Bewertung werden Rückbaubarkeit und Recycling nicht beachtet. Weiters werden im Rahmen der ökologischen Bewertung von Baumaterialien mittels OI3 viele umweltrelevante Parameter nicht berücksichtigt, sondern eben nur der Primärenergieinhalt, das Treibhauspotenzial und das Versäuerungspotenzial.

Bezogen auf Kapitel 4 wurden Mustergebäude entwickelt, um den energetischen sowie ökonomischen „Break Even Point“ zwischen Qualität der Außenhülle und dem Einsatz hocheffizienter erneuerbarer Energiequellen zu entdecken. Mit Hilfe einer dynamischen Amortisationsrechnung konnte festgestellt werden, dass sich die meisten Sanierungsmaßnahmen im Zeitraum von 11-20 Jahre amortisieren. Die Amortisation der Sanierungsmaßnahme bei einem Heizungstausch von einer alten Ölheizung auf ein System mit Hackschnitzel, Pellets oder Luft/Wasser-Wärmepumpe liegt meist im Bereich von 6-15 Jahren. Ein Fenstertausch kombiniert mit WDVS rechnet sich, unabhängig vom Heizungssystem, fast immer nach 11-15 Jahren. Eine Sanierung durch Fenstertausch alleine, oder auch eine Dämmung des Flachdachs, hat das ungünstigste Verhältnis zwischen Einsparung zu Investitionskosten und amortisiert sich oftmals nicht binnen 30 Jahren.

Die Implementierung von Solarthermie-Anlagen oder Lüftungsanlagen im Zuge der Sanierung führen zu höheren Amortisationszeiten, meist im Bereich von 16-20 Jahren. Berücksichtigt man neben den Energiekosten ebenso die Umweltkosten, kommt es zu einer Verringerung der Amortisationszeiten. Die Amortisationszeiten liegen hierbei hauptsächlich bei 6-15 Jahren. Die größte Veränderung gibt es, unter Berücksichtigung der Umweltkosten, bei Heizungssystemen mit Wärmepumpen, nämlich aufgrund der geringen Umweltkosten für Strom in Österreich.

Für die Entscheidung zwischen unterschiedlichen Investitionsvarianten mag es, aus betriebswirtschaftlicher Sicht, von Interesse sein, welche Alternative den höchsten Kapitalwert erreicht. Bei Vergleich des Kapitalwertes nach 30 Jahren zeigt sich, dass hohe Investitionen zu Beginn welche mit einer umfangreichen Sanierung verbunden sind, im Vergleich zu kleinen Sanierungsmaßnahmen oder lediglich einem Heizungstausch wirtschaftlich lukrativer sind. Bei umfangreicher Sanierung mit der Dämmung des Dachs, der Außenwand und einem Fenstertausch wird der höchste Kapitalwert am Ende des Betrachtungszeitraums erreicht. Dementsprechend ist eine umfassende Sanierung aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht empfehlenswert.

Unter dem Terminus Big Energy Data wurde die Energieausweisdatenbank ZEUS und damit die Energieausweise vom Bundesland Salzburg statistisch ausgewertet. Zentrale Ergebnisse sind, dass in jüngerer Vergangenheit vermehrt regenerative Energiequellen zur Bereitstellung von thermischer Energie eingesetzt wurden. Bei kürzlich errichteten Gebäuden (Baujahr ab 2011) liegt der Anteil an solarthermischen Anlagen und PV-Anlagen bereits bei 40,7 % (Solarthermie) bzw. 7,6 % (Photovoltaik). Neben der Nutzung von Sonnenenergie finden sich bei sanierten Gebäuden auch vermehrt Heizsysteme, die Biomasse als Energieträger nutzen. Insbesondere im Neubau haben Niedertemperatursysteme in Kombination mit Wärmepumpen eine hohe Bedeutung.

Neben dem Heizungstausch erfolgt bei Sanierungsmaßnahmen vielfach auch eine thermische Ertüchtigung der Gebäudehülle und anderer Bauteile. Der Vergleich des Mittleren U-Wertes vor

und nach Sanierung von Wohngebäuden zeigt eine Reduktion des Median von 0,82 W/m²K (Bestand) auf 0,38 W/m²K (Sanierungsfertigstellung) und eine Halbierung des Heizwärmebedarfs. Im Rahmen dieser Analyse wurde aufgezeigt, welche Verbesserungen an energietechnischen Kennwerten die Salzburger Wohngebäude durch die Sanierung erzielten. Weiters lässt sich das Potential erahnen, das in der fachmännischen Sanierung von Gebäuden liegt.

Unter dem Begriff alternative Leuchtturmprojekte werden neuartige, innovative und zukunftsträchtige Gebäudekonzepte untersucht. Die Analyse dieser Konzepte und deren Darstellbarkeit im Energieausweis zeigte die Grenzen des Energieausweises auf. Der Energieausweis ist darauf ausgerichtet eine breite Masse an Gebäuden energetisch zu bewerten. Der Energieauseis ist darauf ausgerichtet einen Vergleich zwischen unterschiedlichen Gebäuden zu ermöglichen, allerdings soll dessen Erstellung auch wirtschaftlich erschwinglich ist. Die Folge ist, dass beim derzeitigen Verfahren gewisse Vereinfachungen in der Berechnung gegeben sind, welche den Aufwand bei der Erstellung, im Vergleich zu einer exakten Simulation reduzieren. Diese Simplifizierung führt allerdings zu Ungenauigkeiten. Gewisse Rahmenbedingungen können daher bei weniger verbreiteten neuartigen Konzepten nicht erfasst bzw. wahrheitsgetreu im Energieausweis abgebildet werden, was zur Verzerrung der Ergebnisse führt.

In Summe kann die Aussage getroffen werden, dass der Energieausweis durch seine Erstellungsrahmenbedingungen die Realität teilweise gut abbildet, abhängig von Nutzung und Haustechniksystem ergeben sich aber erhebliche Abweichungen zum Energiebedarf von Gebäuden.

Im Kapitel 8 Qualitätssicherung in der Sanierung wurde von der FH Salzburg – Smart Building gemeinsam mit der Energieberatung die Broschüre „Sanieren heute – Wegweiser zum Niedrigstenergiehaus“ entwickelt. Diese Broschüre, mit dem Fokus auf Sanierung, beschäftigt sich mit den Themengebieten Bautechnik sowie Haustechnik und zeigt einfach umzusetzende Maßnahmen zum Energiesparen auf. Weiters wurden funktionale Beschreibungen entwickelt, die dem sanierungswilligen Eigenheimbesitzer bei der Erstellung von Ausschreibungsunterlagen unterstützen sollen.

Die Vielfältigkeit und der Umfang des Projekts ermöglichte es, unterschiedliche Forschungsfelder aufzudecken, welche bis dato noch unzureichend erschlossen sind. So könnte ein künftiges Forschungsprojekt darauf abzielen, die Effizienz derzeitiger Fördermodelle zu analysieren, die lediglich das Triebhauspotenzial und die Primärenergie berücksichtigen, in Bezug auf die Ökobilanz, wobei andere Umweltindikatoren allerdings außen vorgelassen werden. Ebenso könnte es die Zielsetzung eines weiterführenden Projekts sein festzustellen, welche Auswirkung eine schrittweise Sanierung, d.h. Einzelmaßnahmen in gewissen Zeitabständen, auf die Amortisation hat.

Der Input aus diesem Forschungsprojekt führte zu einer Adaption der ZEUS-Datenbank, künftig werden die unterschiedlichen Schichten eines Bauteils erfasst. Folglich wird es möglich sein Aussagen darüber zu treffen, welche Bauteile wie saniert werden und welche Materialien dabei zum Einsatz kommen. Dass unterschiedliches Nutzerverhalten zu erheblichen Abweichungen zwischen Bedarfs- und Verbrauchswerten führen kann, wurde mehrmals in diesem Projekt erwähnt. Aussagekräftige Ergebnisse können nur geliefert werden, wenn bestimmte Nutzergewohnheiten bekannt sind. So wäre es bspw. notwendig zu wissen, welche Innentemperaturen tatsächlich im Gebäude vorherrschen und wann Warmwasser von den Zapfstellen entnommen wird. In Folge wäre die Analyse der Darstellbarkeit von bestimmten alternativen Leuchtturmkonzepten im Energieausweis nur in Verbindung mit einem umfassenden Monitoring zielführend, welches im Rahmen dieses Projekts nicht möglich war. In Kooperation mit der Energieberatung Salzburg wurde eine Broschüre entwickelt, die als Ratgeber für unterschiedliche Maßnahmen im Bau- und Haustechnikbereich dient. Die Broschüre ist ein Exzerpt von üblichen Sanierungsmaßnahmen. Eine Erweiterung der Broschüre könnte auch weniger angewandte, d.h. innovative und zukunftsträchtige Maßnahmen darstellen.

12 Verzeichnisse

12.1 Literaturverzeichnis

Amtmann et al 2011

Amtmann M., Barth T. Mitterndorfer M. & Simander G. (2011): Kosten-Nutzen-Analyse von energetischen Gebäudesanierungen in Österreich, http://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/projekte/gebaeude/VoekSan-ExecutiveSummary.pdf

Barth 2010

Barth H. M. (2010): Naturdämmstoffe, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Bauhanf o.J

Bauhanf Handel & Service im Naturbauhof-Prenzlau (o.J): Problem bei Hanf-Dämmplatten, http://www.bauhanf.de/files/faq.php?nodePoint=114

BASF 2014

BASF (2014): Styropor P 326, http://www.plasticsportal.net/wa/EU~de_DE/Catalog/ePlastics/doc4/BASF/product/styropor_p_326/.pdf?title=Technisches%20Merkblatt%20-%20Styropor%20P%20326&asset_type=pi/pdf&language=DE&urn=urn:documentum:eCommerce_sol_EU:09007bb2800d71e9.pdf

Baumit o.J

Baumit (o.J.): Natur pur: Für ökologisches Dämmen, http://www.calameo.com/read/001102318bd41af7f8473

Baumit 2012

Baumit (2012): Baumit HolzweichfaserDämmplatte (Pavatex Diffutherm), http://www.baumit.at/upload/pimdam/pdb/PDBL_HolzweichfaserD_mmplatte.pdf

Baumit 2014a

Baumit (2014): Baumit Fassadendämmplatte Mineral 040 (RP-PT), http://www.baumit.at/upload/pimdam/pdb/PDBL_Baumit_FassadenPlatte_Mineral_040_RP_PT.pdf

Baumit 2014b

Baumit (2014): Baumit Fassadendämmplatte Minerla 034 (FKD-T C1), http://www.baumit.at/upload/pimdam/pdb/PDBL_Baumit_FassadenPlatte_Mineral_034_FKD-T_C1.pdf

BauNetz o.J.

BauNetz (o.J.): Nicht brennbare Mineralschaum-Platten, http://www.baunetzwissen.de/standard-artikel/Daemmstoffe-Nicht-brennbare-Mineralschaum-Platten_3108839.html

BMLFUW 2007

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2007): Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008-2013

BMLFUW 2012

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2012): Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2011: Band 1

BMLFUW 2014a

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2014): Zuordnungstabellen – 2772: EU Abfallverzeichnis (nur Detail- Klassifikation, https://secure.umweltbundesamt.at/edm_portal/redaList.do?lsCode=2fpzztk2dsdafs&d-49520-o=null&d-49520-o=null&d-49520-o=null&d-49520-o=null&seqCode=g9pwbgwdnm7zpz&d-49520-s=null&d-49520-s=null&d-49520-s=null&d-49520-s=null&d-49520-p=14

BMLFUW 2014b

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (2014): Holzeinschlag 2013: Holzeinschlagsmeldung über das Kalenderjahr 2013 (in Erntefestmetern ohne Rinde – Efm o.R.), http://www.bmlfuw.gv.at/dms/lmat/publikationen/forst/holz/holzeinschlag13/Holzeinschlagsmeldung-2013/Holzeinschlagsmeldung%202013.pdf?1=1

BMU 2016

Bundesumweltministerium Renewable Energy Concepts http://www.renewable-energy-concepts.com/german/sonnenenergie/basiswissen-solarenergie/verschattung-solarmodul/sonnenstand.html

Bointner et al 2012

Bointner R., Bednar T., Eikemeier S., Ghaemi S., Haas R., Harreither C., Huber-Fauland H., Ipser C., Krec K., Leeb M., Ponweiser K., Steiner T., Stieldorf K., Wegerer P., Wertz D. & Wimmer R. (2012): Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung, http://www.hausderzukunft.at/hdz_pdf/berichte/endbericht_1256_annex_a_max_energieeffizienz.pdf

Breitschopf & Memmler 2012

Breitschopf B. & Memmler M. (2012): Ermittlung vermiedener Umweltkosten – Hintergrundpapier zur Methodik, http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/de/projekte/120710-ISI-Hintergr-Papier-VermUmweltschaeden-final.pdf

Buschmann 2003

Buschmann R. (2003): Umweltverträglichkeit von Gebäudedämmstoffe, http://www.schleswig-holstein.de/UmweltLandwirtschaft/DE/Abfall/_DL/daemmstoffe_pdf__blob=publicationFile.pdf

Büchli & Raschle 2004

Büchli R. & Raschle P. (2004): Algen und Pilze an Fassaden: Ursachen und Vermeidung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Capatect 2014

Capatect (2014): Capatect Hanffaserdämmplatte, http://www.synthesa.at/files/ti_gen/Capatec-tHanffaserdaemmplatte_TI_449_SCREEN.pdf

Chemie.de o.J.

Chemie.de Information Service GmbH (o.J.): Polyester, http://www.chemie.de/185exicon/Polyes-ter.html

Danner 2010

Danner H. (2010): Ökologische Wärmedämmstoffe im Vergleich 2.0, http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CC4QfjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.puchheim.de%2Fexport%2Fdown-load.php%3Fid%3D5841&ei=bvI9U4H0Fqr-ygO-kjIGgBA&usg=AFQjCNFcxZp1Ymy541wKlqPE5iYOopbI3Q&bvm=bv.67229260,d.bGQ

Capatect 2014

Capatect (2014): Capatect Hanffaserdämmplatte, http://www.capatect.at/ti_gen/Capatec-tHanffaserdaemmplatte_TI_449_SCREEN.pdf

Detail 2012

Detail (2012): Forschungsprojekt zum WDVS-Recycling gestartet, http://www.detail.de/architek-tur/themen/forschungsprojekt-zum-wdvs-recycling-gestartet-020238.html

Detail Green 2013

Detail Green (2013): Wärmedämmverbundsysteme: Klimaretter oder Sondermüll? Ein Gespräch zwischen Gerd Hauser, Andreas Hild und Andreas Holm, Detail Green, Heft 2/2013, S. 58

Dumke Group 2014

Dumke Group (2014): Natürliche Dämmung aus Kork, http://www.korkmanufaktur.de/daemm-kork.html

DIN 5034-1 2011

Deutsches Institut für Normung (2011) DIN 5034-1: Tageslicht in Innenräumen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Berlin

DIN V 18599-2 2016

Deutsches Institut für Normung (2016) DIN V 18599-2 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen, Berlin

E-Control 2014

E-Control (2014): Warum kann sich der Brennwert von Erdgas ändern und wie erfolgt die Umrechnung in Kubikmetern in Kilowattstunden, http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/gas/dokumente/pdfs/Umrechnung%20m3%20auf%20kWh_2014.pdf

Energie-Control Austria

Energie-Control Austira (2015): Pressemappe Präsentation Stromkennzeichnungsbericht, https://www.e-control.at/documents/20903/388512/SKN_2015_Pressemappe.pdf/571a5abd-bfe6-4e9b-be90-fcc86c7055ec

Eicke-Henning 1997

Eicke-Henning W. (1997): Neue Dämmstoffe – (k)eine Alternative? In: Das Bauzentrum – IBK 9 (1997)

Emerals Group Publishing Limited o.J.

Emerals Group Publishing Limited (o.J.): Integrating vaccum insultion panels in building constructions: an integral perspection, http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1589128

EPS Verband Schweiz 2013

EPS Verband Schweiz (2013): EPS Verband Schweiz, Stellungnahme November 2013: Industrie ist bestrebt EPS-Flammschutzmittel bis Mitte 2014 auszutauschen, http://www.go-non.ch/images/home/hbcd.pdf

EVN, o.J

EVN (o.J.): Meine Strom- & Gasrechnung: Die Wichtigsten Begriffe auf einen Blick, https://www.evn.at/EVN-AT/files/da/da90d792-7ec6-44cf-a1bd-54f18701a15d.pdf

Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme 2013a

Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme (2013) Statistik Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme IV/2012, http://www.heizkosten-einsparen.de/content/application/database/press/3/8/138/04-2012-anteile-daemmstoffe.pdf

Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme 2013b

Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme (2013) Statistik Fachverband Wärmedämm-Verbundsysteme IV/2012, http://www.heizkosten-einsparen.de/content/application/database/press/3/7/137/04-2012-daemmstoffdicke.pdf

FCIO 2008

Fachverband der Chemischen Industrie Österreichs (2008): Dämmstoffe, http://www.fcio.at/DE/kunststoffe.fcio.at/Publikationen/Kunststoffe%20und%20Nachhaltigkeit/D%C3%A4mmstoffe/D%C3%A4mmstoffe.aspx

FFG 2017

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (2017): Kick off - Brancheninitiative Bauforschung 2020, Salzburg https://www.ffg.at/kickoffbauforschung2020

Fischler et al 2008

Fisher H.-M., Freymuth H., Häupl P., Hormann M., Jenisch R. Richter E. & Stohrer M. (2008): Lehrbuch der Bauphysik, GWV Fachverlag, Wiesbaden

FNR o.J.

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (o.J.): Gärsubstrate, http://biogas.fnr.de/biogas-gewinnung/gaersubstrate/

Fouad 2013

Fouad N. A. (2013): Bauphysik-Kalender 2013: Schwerpunkt – Nachhaltigkeit und Energieeffizienz, Wilhelm Ernst & Sohn Verlag, Berlin

Fraunhofer IBP, o.J.

Fraunhofer Institut für Bauphysik (o.J.): Ökobilanzierung – Life Cycle Assessment, http://www.ibp.fraunhofer.de/de/Kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/oekobilanzierung.html

Fraunhofer IVV o.J.

Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV, http://www.ivv.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/kunststoff-rezyklate/recycling-eps-abfall.html

Frey & Lösch 2010

Frey W. & Lösch R. (2010): Geobotanik: Pflanzen, Vegetation in Raum und Zeit, 3. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg

Fritz 2005

Fritz J. (2005): Einsatz von biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAW's) für die Vergärung, http://www.wenigermist.at/uploads/2010/06/Endbericht_Literaturanalyse_BAWs_2004.pdf

Gebhardt 2012

Gebhardt G. (2012): Holzfaserdämmplatten als aussteifende Beplankung von Holztafeln, Scientific Publishing, Karlsruhe

Gewerkschaft Bau-Holz 2014

Gewerkschaft Bau-Holz (2014): Förderung der thermischen Sanierung heuer mit 100 Mio. Euro dotiert, http://www.bau-holz.at/servlet/ContentServer?pagename=D01/Page/Index&n=D01_0.a&cid=1390820826294

Gladt et al 2013

Gladt M., Bednar T. (2013) A fully automated calculation of shadow casting with matrix-based coordinate transformations and polygon clipping. 13th Conference of IBPSA 2013

Goretzki 2010

Goretzki P. (2010) Besonnungsgutachten - Bauvorhaben Layher Wohnbau, Stuttgart http://www2.kornwestheim.de/e-komm/Sitzung/ge_sourc.nsf/02b0d6d9b165d503c125784f00312c2c/dccc8c29b0d89a51c125773e002fc393/$FILE/Besonnungsgutachten_Kornwestheim_Stuttgarter-Hornberg-Stra%C3%9Fe_20100430.pdf

Graubner & Clanget-Hulin

Graubner C.-A. & Clanget-Hulin M. (2013): Analyse der Trennbarkeit von Materialschichten hybrider Außenbauteile bei Sanierungs- und Rückbaumaßnahmen: Erstellung einer praxisnahen Datenbank für die Nachhaltigkeitsbeurteilung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Günther o.J.

Günther S. (o.J.): Schild – ökologisch und ökonomisch eine sehr gute Dämmung, http://www.energieheld.de/files/pdf/165%20Schilf%20-%20natuerliche%20Dammung%20mit%20Schilfmatten.pdf

Haeffele et al 1996

Haeffelel G., Oed W. & Sambeth B. M. (1996): Baustoffe und Ökologie: Bewertungskriterien für Architekten und Bauherrn, Erst Wasmuth Verlag, Tübingen, Berlin

Hegger et al 2005

Hegger M., Auch-Schwenk V., Fuchs M. & Rosenkranz T. (2005): Baustoffatlas, Birkhäuser Verlag für Architektur, Basel

Heid & Reith 2010

Heid H. & Reith J. (2010): Malerfachkunde, 5. Auflage, Vieweg Teubner Verlag, Wiesbaden

Hausladen & Tichelmann 2009

Hausladen G. & Tichelmann K. (2009): Ausbau Atlas: Integrale Planung, Innenausbau. Haustechnik, Birkhäuser Verlag GmbH

Hegger et al 2005

Hegger M. Auch-Schwelk V., Fuchs M. & Rosenkranz T. (2005): Baustoff Atlas, Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München

Heidukt 2012

Heiduk E. (2012): Status des Recyclings von Alt-WDVS-Dämmstoffen, Beitrag bei Fassadenbautagung 15.06.2012 „Zukunftsperspektiven im Fassadenbau“

Holzmann & Wangelin 2009

Holzmann G. & Wangelin M. (2009): Natürliche und pflanzliche Baustoffe, Vieweg+Teubner, Wiesbaden

Horvat et al 2012

Horvat M, Wall, M (editors) (2012). Solar Design of Buildings for Architects: Review of Solar Design Tools. Report T.41.B.3. IEA SHC, http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41B3_approved-Jul12.pdf

IBO 2000

IBO-Österreichisches Institut für Baubiologie und-ökologie Donau-Universität Krems (2000): Ökologie der Dämmstoffe, Springer Verlag, Wien

IBO 2013a

IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH (2013): OI3-Indikator: Leitfaden zur Berechnung von Ökobilanzen für Gebäude, http://www.ibo.at/de/documents/20131016_OI3_Berechnungsleitfaden_V3.pdf

IBO 2013b

IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH (2013): Dämmstoffe: IBO-Richtwerte für Baumaterialien, Stand: Juni 2013, http://www.ibo.at/documents/Dammstoffe2013.pdf

IBO 2014

IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH (2014): Ökokennzahlen /OI3 Leitfaden, http://www.ibo.at/de/oekokennzahlen.htm

IVH 2013

Industriebverband Hartschaum e.V. (2013): Industrie ist bestrebt EPS-Flammschutzmittelt bis Mitte 2014 auszutauschen, http://www.knauf-daemmstoffe.de/www/media/pdf/t_techn_blaetter/reach_fakten.pdf

Innovations- und Forschungsstelle Bau 2017

Innovations- und Forschungsstelle Bau (2017): Auskunft von Gunther Graupner

IVH o.J.a

Industrieverband Hartschaum e.V. (o.J.): Energierecycling, http://www.ivh.de/Energierecycling_I252.whtml

IVH, o.J.b

Industriebverband Hartschaum e.V. (o.J.): Pentan als Treibmittel für Styropor, http://www.ivh.de/Pentan_I261.whtml?lcr=ru und http://www.ivh.de/Pentan02_I263.whtml?lcr=ru

Jantschek 2011

Jantschek M. (2011): Nutzung und Rückbau von Fassadensystemen im Zuge des LQG-Projektes, Diplomarbeit FH-Joanneum

Knappe et al 2012

Knappe F., Diebel A., Reinhardt J. &Theis S. (2012): Verwertung des Abbruchmaterials von KlimaHäusern, https://www.ifeu.de/abfallwirtschaft/pdf/Bozen_Klimahaus_Final_dt.pdf

Koch-Jugl 2014

Koch-Jugl J., Beer I., Bolland T., Dettlich F., Stolzenberg H.-C., Tietjen L., Wurbs J., Debiak M. (2014): Hexabromcyclododecan (HBCD): Antworten auf häufige Fragen, http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/faq_hbcd.pdf

Krackler et al 2010

Krackler v., Kreunecke D., Neimz P. (2010): Verarbeitung und Verwertungsmöglichkeiten von Laubholz und Laubholzresten, http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:1557/eth-1557-01.pdf

Krus 2008

Krus M. (2008): Biologischer Bewuchs auf Fassaden, http://www.demozentrum-bau.de/fileupload/9627940accc8465487260e7538202a73.pdf

Krus & Fritz 2005

Krus M. & Fritz C. (2005): Beeinflussung der Oberflächenfeuchte zur Vermeidung von Algenbewuchs, Applica, Nr.9, 2005, S. 4-9

Künzel et al 2001

Künzel H.M., Krus M. & Sedlbauer K. (2004): Algen auf Außenwänden – Bauphysik als Ursache? Bauphysik als Lösung!, Beitrag zum 3. Dahlberger-Kolloquium, Wismar

Künzel et al 2006

Künzel H. M., Künzel H., Klaus S. (2006): Hygrothermische Beanspruchung und Lebensdauer von Wärmedämm-Verbundsystemen, Bauphysik 28 (2006), Heft 3, S. 153 -163

Lung 2015

Lung T. (2015) Prognose von Verschattungen im Umfeld komplexer Bebauung - Bauphysik 37 , Heft 5, Berlin

Marsh 2007

Marsh, A., (2007), Why Do Shading Calculations Take so Long?, Natural Frequency, ISSN: 1833-7570, Issue No. 004, November 01, 2007, retrieved March 19, 2012 from http://naturalfrequency.com/articles/shadingcalculations

Mäuer & Schlummer 2014

Mäuer A. & Schlummer M. (2014): Recyclingfähigkeit von Wärmdämmverbundsysteme mit Styropor, http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-296478.html

Meeus 1998

Meeus, J. (1998) Astronomical Algorithms, 2nd Ed. Willmann-Bell, Richmond, Virginia, USA

MM-Fassaden 2014

MM-Fassaden (2014): ABC der Wärmedämmung mit SDVS, http://www.mm-fassaden.at/wdv-sabc.html

Mötzl et al 2008

Mötzl H., Bauer B., Boogmann P., Rohregger G., Unzeitig U. & Zelger T. (2008): Passivhaus-Bauteilkatalog: Ökologisch bewertete Konstruktionen, Springer Verlag, Wien

Mühletaler & Haas 2011

Mühletaler B., Haas S. (2011): Naturdämmstoffe, 2. Auflage, Fraunhofer Irb Verlag

Naporo 2014a

Naporo (2014): NAPORO Wall, http://www.naporo.com/start.php?Bereich=2&Thema=44

Naporo 2014b

Naporo (2014): Bildmaterial, http://www.naporo.com/start.php?Bereich=5&Thema=16

Naporo 2014c

Naporo (2014): Naporo und Capatect mit dem Klimaschutzpreis 2013 ausgezeichnet, http://www.naporo.com/start.php?op=news_de&ID=141

Natureplus e.V. o.J.

Internationaler Verein für zukünftiges Bauen und Wohnen – natureplus e.V. (o.J.): Certified Produkcts –ETICS – Composite Insulation Systems, http://www.natureplus.org/index.php?id=149

Natureplus e.V. 2010

Internationaler Verein für zukunftiges Bauen und Wohnen – natureplus e.V. (2010): nature plus e.V. Vergaberichtlinie 0104 HOLZFASERDÄMMPLATTEN FÜR DAS BAUWESEN, http://www.natureplus.org/uploads/tx_usernatureplus/RL0104Holzfaserdaemmplatten.pdf

Neuhaus 2009

Neuhaus H. (2009): Ingenieurholzbau: Grundlagen – Bemessung – Nachweis – Beispiele, 2. Auflage, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden

Nielsen 2005

Nielsen T.R. (2005) Simple Tool to evaluate energy demand and indoor environment in the early stages of building design. Solar Energy 78, 73-83

Nierobis 2003

Nierobis L. (2003): Glaswolle, http://www.waermedaemmstoffe.com/htm/mineralwolle.htm

Nierobis 2003

Nierobis L. (2003): Polystyrolpatikelschaum (EPS), http://www.waermedaemmstoffe.com/htm/polystyrol.htm

Oberhuber & Denk 2014

Oberhuber A., Denk D. (2014) Zahlen, Daten, Fakten zu Wohnungspolitik und Wohnungswirtschaft in Österreich, BMWFJ, WienOIB 2015

Österreichisches Institut für Bautechnik (2015): OIB Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz, Ausgabe: Oktober 2015, http://www.oib.or.at/sites/default/files/rl6_061011_2.pdf

OIB 2015

Österreichisches Institut für Bautechnik (2015): OIB Richtlinie 6: Energietechnisches Verhalten von Gebäuden, http://www.oib.or.at/sites/default/files/leitfaden_richtlinie_6_26.03.15_0.pdf

ÖNORM B 8110-3 2012

Austrian Standards Institute (2012) ÖNORM B 8110-3 - Wärmeschutz im Hochbau - Teil 3: Vermeidung sommerlicher Überwärmung, Wien

ÖNORM B 8110-6 2014

Austrian Standards Institute (2015) ÖNORM B 8110-6 - Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Nationale Festlegungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN ISO 13790, Wien

ÖNORM EN ISO 13790 2008

Austrian Standards Institute (2008) ÖNORM EN ISO 13790 - Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung, Wie

ÖNORM EN ISO 13791 2012

Austrian Standards Institute (2012) ÖNORM EN ISO 13791 - Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik - Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren, Wien

Pavatex 2014

Pavatex (2014): Die Herstellung von PAVATEX-Holzfaserdämmplatten, http://www.pavatex.at/kompetenzen/herstellung/

Pavatex SA 2014

Pavatex SA (2014): Die Herstellung von PAVATEX-Holzfaserdämmplatenn, http://www.pavatex.ch/de/kompetenzen/herstellung/

Perez et al 1990

Perez R., Ineichen P., Seals R., Michalsky J., Stewart R.. (1990) Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. Solar Energy, Vol. 44

PHPP 2007

Feist W. (2007) Passivhausprojektierungspaket 2007 – Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser, Darmstadt

proHolz 2014

proHolz (2014): Baumartenverteilung und Insektenarten, http://www.proholz.at/zuschnitt/51/der-oesterreichische-wald/

PVGIS (c) European Communities, 2001-2012

PVGIS Huld T., Dunlop E.D. (2016) PV potential estimation utility, European Commission, Joint Research Centre, Ispra, http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=de&map=europe#

QG Wärmedämmsysteme 2014

Qualitätsgruppe Wärmedämmsysteme (2014): Team und Mitglieder, http://www.waermeda-emmsysteme.at/ueber_uns/team_mitglieder.php

Riebler o.J.

Riebler K. (o.J.): Polystyrol, http://www.architekt-riebler.at/energieeffizienz/waermedaemmun-gen/polystyrol

Rigips 2014

Rigips (2014): Preisliste 2014, http://ch.rigips.de/download/rigips_preisliste_2014_deu.pdf

Riedel & Frössel 2007

Riedel W. & Frössel F. (2007): Wärmedämm-Verbundsysteme: Von der Thermohaut bis zur trans-parenten Wärmedämmung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart © Baulino Verlag Waldshut-Tiengen

Röfix 2012

Röfix (2012): RÖFIX CORKTHERM 040, http://www.roefix.at/var/fixitgruppe/storage/ilcata-logue/files/pdf/ATDE/Technisches_Merkblatt_RÖFIX_CORKTHERM_040_Kork-Fassadendäm-mplatte__ICB_DC0009329.PDF

Rosenberger et al 2013

Rosenberger R., Bednar T., Handler S., Korjenic A., Leeb M., Schöberl H., Hanic R., Hofer R., Pon-weiser K., Huber-Fauland H., Pöhn C., Storch A., Böhmer S., Fischer D., Gössl M., Pölz W., Reisinger H., Wagner W. (2013) Entwicklung des ersten rechtssicheren Nachweisverfahrens für Plusenergie-gebäude durch komplette Überarbeitung der ÖNORMEN, https://nachhaltigwirtschaf-ten.at/de/hdz/projekte/entwicklung-des-ersten-rechtssicheren-nachweisverfahrens-fuer-plusenergiegebaeude-durch-komplette-ueberarbeitung-der-oenormen.php

Schmiege 2013

Schmiege P. (2013): ÖkoKauf Wien: Kriterienkatalog 07004, https://www.wien.gv.at/umwelt-schutz/oekokauf/pdf/07004-fassadenfarben.pdf

Schild & Weyers 2003

Schild K. & Weyers M. (2003): Handbuch Fassadendämmsysteme: Grundlagen – Produkte – De-tails, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Schradenbiogas GmbH o.J.

Schradenbiogas GmbH (o.J.): Biogastechnologie, http://www.schradenbiogas.de/de/technologie/technologie/

Sedlbauer et al 2004

Sedlbauer K., Krus M., Lenz K. & Paul M. (2004): Einfluss der Außenwandkonstruktion auf nächtliche Betauung und mikrobiellen Bewuchs, IBP-Mitteilung 438, http://www.ibp.fraunhofer.de/content/dam/ibp/de/documents/Publikationen/IBP-Mitteilung/438_tcm45-65483.pdf

Sprengard et al 2012

Sprengard C., Treml S., Holm A. (2012): Technologien und Techniken zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Wärmestoffe: Metastudie Wärmedämmstoffe – Produkte – Anwendung – Innovation, http://www.fiw-muenchen.de/media/pdf/metastudie_waermedaemmstoffe.pdf

Steffes o.J.

Steffes (o.J.): Die Renaissance der europäischen Bastfaserspinnerei durch Verspinnung von Hanf auf Autocoro Rotorspinnmaschinen, http://www.nova-institut.de/pdf/steffes.pdf

Statistik Austria 2012

Statistik Austria (2012): 2010/11: Produktionsrückgänge bei pflanzlichen Nahrungs- und Futtermitteln, http://www.statistik.at/web_de/dynamic/presse/063792

Statistik Austria 2014

Statistik Austria (2014): Feldfrucht- und Dauerwiesenproduktion, endgültiges Ergebnis 2013, http://www.statistik.at/web_de/statistiken/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/feldfruechte/074823.html

Stempel 2009

Stempel U. E. (2009): Dämmen und Sanieren in Alt- und Neubauten, Franzis Verlag, Ping

Sto 2014

Sto (2014): Klimabewusst bauen: CO_2-neutrale Produkte von Sto, http://www.sto.at/evo/web/sto/142522_DE-Infomaterial_Sto_Ges.m.b.H.-CO2-neutrale_Produkte.htm

Sumereder 2013

Sumereder E. (2013): Vergleichende dynamische und statische Untersuchung in monolithischer Ziegelbauweise, Masterarbeit FH Oberösterreich

Umweltbundesamt 2014

Umweltbundesamt (2014): Schutzmittel für Mauerwerk, http://www.biozid.info/deutsch/biozid-produkte/biozidprodukte-detailansicht/?tx_ubabio-zid_pi1%5Bid%5D=23&cHash=d521705005a65ad17c8180530d6275eb

Unn 2011

United News Network GmbH (2011): Der Markt für Wärmedämmverbundsysteme setzt Aufwärtstrend fort, http://www.pressebox.de/inaktiv/interconnection-consulting-gmbh/Der-Markt-fuer-Waermedaemmverbundsysteme-setzt-Aufwaertstrend-fort/boxid/410714

WG Wärmedämmsysteme 2013

Qualitätsgruppe Wärmedämmsysteme (2013): Pressefrühstück Qualitätsgruppe Wärmedämmsysteme: Weiterbildungsmaßnahmen zum zertifizierten Facharbeiter, http://wdvs.velartis.at/uploaded/files/130425_QG_Pressefr%C3%BChst%C3%BCck.pdf

Walton 1979

Walton G.N. (1979) The application of homogeneous coordinates to shadowing calculations. ASHRAE Transactions, 84 (1), 174-180

Wimmer et al 2012

Wimmer R., Bintinger R., Eikemeier S. & Prokupek S. (2012): Entwicklung eines baubiologisch hochwertigen Wärmedämmverbundsystems auf Basis von Schilf, http://www.fabrikderzukunft.at/fdz_pdf/endbericht_1259_waermedaemmverbundsystem.pdf

Winkelmann 2001

Winkelmann F.C. (2001) Modeling Windows in Energy Plus. Proc. IBPSA, Building Simulation.

Wirtschaftskammer Österreich 2015

Wirtschaftskammer Österreich (2015): Schwarzer: Erfolgsmodell Sanierungsoffensive ausbauen statt kürzen, https://www.wko.at/Content.Node/iv/presse/wkoe_presse/presseaussendungen/pwk_601_15_Schwarzer:-Erfolgsmodell-Sanierungsoffensive-au.html

12.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Broschüre des Forschungsprojektes, http://www.salzburg.gv.at/sanieren_heute.pdf 1
Abbildung 1.2: Vergleich des HWB_{SK} zwischen Bestand (links) und nach der Sanierung (rechts) .. 2
Abbildung 1.3: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten. Die jeweilige Sanierungsmaßnahme wird jeweils alleine, mit ST (Solarthermie), mit PV5 (Photovoltaik 5kWp), mit PV30 (Photovoltaik 30kWp) und mit Lüftung verglichen. 3
Abbildung 3.1: Einteilung unterschiedlicher Dämmstoffe. 12
Abbildung 3.2: Bereich der Wärmeleitfähigkeit von dämmenden Baustoffen 13
Abbildung 3.3: Systemaufbau eines Wärmedämmverbundsystems 14
Abbildung 3.4: Einfluss der Dämmstoffdicke (λ = 0,04 W/(m.K)) auf den U-Wert eines Wandbauteils mit einem U-Wert von 1,4 W/(m^2.K) des Rohbauteils 15
Abbildung 3.5: Erforderliche Dämmstoffdicke zur Erreichung eines U-Wertes von 0,35, 0,25 bzw. 0,1 W/m^2K bei einem Wandbauteil mit einem ursprünglichen U-Wert von 1,2 W/m^2K in Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit des Dämmmaterials 16
Abbildung 3.6 Glaswolle (links) und Steinwolle (rechts) 17
Abbildung 3.7: Mineralschaum- dämmplatte [BauNetz o.J.] 19
Abbildung 3.8: Schaumglas 19
Abbildung 3.9: Expandierter Polystyrol 20
Abbildung 3.10: Extrudierter Polystyrol 23
Abbildung 3.11: Wirkungsweise der transparenten im Vergleich zur opaken Wärmedämmung .. 24
Abbildung 3.12 :Korkdämmplatte 25
Abbildung 3.13: Holzweichfaserdämmplatte 26
Abbildung 3.14: Holzwolle- verbundplatte mit Steinwolle als Kerndämmung 28
Abbildung 3.15: Hanffaserdämmplatte [Naporo 2014b] 28
Abbildung 3.16: Schilfrohr gebündelt 29
Abbildung 3.17: Prozentualer Anteil von Gebäuden unterschiedlicher Errichtungszeiträume am Gesamtbestand in Österreich und Salzburg bei der Registerzählung 2011 31
Abbildung 3.18: Grafische Darstellung des Gebäudebestandes der Bezirke von Salzburg bei der Registerzählung 2011 in Abhängigkeit des Erbauungszeitraums 32
Abbildung 3.19: WDVS-Dämmstoffmarkt Österreich 34
Abbildung 3.20: Durchschnittlich Dämmstoffdicke im Vergleich für die Jahre 2003 bis 2011 und für die Quartale des Jahres 2012 35
Abbildung 3.21: Foto- und Thermografie eines algenbewachsenen gedübelten Wärmedämmverbundsystems ohne mikrobiellen Bewuchs bei den Wärmebrücken (Dübeln) 38
Abbildung 3.22: Mittlere Tageszyklen der Studie von Künzel et al (2001) gemessene Oberflächentemperatur und ermittelte Oberflächenfeuchten im Vergleich zu den

Außenluftbedingungen 39
Abbildung 3.23: Schlagregenanfall und Dauer der Unterschreitung der Taupunkttemperatur einer Porenbetonwand und eines WDVS für die Monate September und Oktober. Der U-Wert beider Wandkonstruktionen beträgt 0,35 W/m²K 41
Abbildung 3.24: Vergleich der Unterschreitung der Taupunktemperatur einer monolithischen Wand mit einer WDVS-Wand 42
Abbildung 3.25: Unterschreitung der Taupunkttemperatur über das Jahr 43
Abbildung 3.26: Oberflächentemperatur bei klaren, kalten Winternächten und unterschiedlichen Außentemperaturen für zwei Außenwandbauteilen mit den U-Wert 0,9 bzw. 0,3 W/m²K 44
Abbildung 3.27: Dauer der Dauerwassertemperatur-Unterschreitung bei unterschiedlichen Varianten zur Reduktion der Tauwasserbildung für den Zeitraum September bis Oktober bei einem Wandbauteil mit U = 35 W/m² K 46
Abbildung 3.28: Lebenszyklus von Baustoffen 47
Abbildung 3.29: PEI n.e. pro kg Dämmstoff 49
Abbildung 3.30: PEI n.e. unterschiedlicher Dämmstoffe bei Dämmung eines Wandbauteiles von einem Ausgang-U-Wert von 1,2 W/(m²K) zu einem Ziel-U-Wert von 0,35 W/(m²K), ... 51
Abbildung 3.31: GWP100 pro kg Dämmstoff 52
Abbildung 3.32: GWP100 unterschiedlicher Dämmstoffe bei Dämmung eines Wandbauteiles von einem Ausgang-U-Wert von 1,2 W/(m²K) zu einem Ziel-U-Wert von 0,35 W/(m²K) 52
Abbildung 3.33: AP pro kg Dämmstoff 53
Abbildung 3.34: AP unterschiedlicher Dämmstoffe bei Dämmung eines Wandbauteiles von einem Ausgang-U-Wert von 1,2 W/(m²K) zu einem Ziel-U-Wert von 0,35 W/(m²K) 54
Abbildung 3.35: ΔOI3 unterschiedlicher Dämmstoffe inkl. Putz, Ausgangs-U-Wert 1,2 W/m².K, 55
Abbildung 3.36: Preise unterschiedlicher Dämmstoffe inkl. Putz, Ausgangs-U-Wert 1,2 W/m².K 55
Abbildung 3.37: Vergleich lose und flächige Befestigung bei MW, EPS und WF 64
Abbildung 3.38: Flussdiagramm für den Rückbau des WDVS mit dem Dämmstoff MW bei Befestigung mit Dübel 66
Abbildung 4.1: Einfamilienhaus modern 80
Abbildung 4.2: Einfamilienhaus klassisch 81
Abbildung 4.3: Mehrfamilienhaus 82
Abbildung 4.4: Bürogebäude 83
Abbildung 4.5: Energie- und Umweltkosten 85
Abbildung 4.6: Übersicht zu den Bautechnikvarianten 86
Abbildung 4.7: Übersicht zu den Haustechnikvarianten, ... 87
Abbildung 4.8: Amortisationslevel nach bautechnische Sanierungsvariante in Abhängigkeit der Haustechnikanlage beim MFH 88
Abbildung 4.9: Amortisationslevel nach haustechnischen Sanierungsvarianten in Abhängigkeit der bautechnischen Sanierung beim MFH 89
Abbildung 4.10: Amortisationslevel nach haustechnischen Sanierungsvarianten in Abhängigkeit

der bautechnischen Sanierung, neben Heizungstausch auch Implementierung einer solarthermischen Anlage beim MFH 90
Abbildung 4.11: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim MFH 91
Abbildung 4.12: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH 92
Abbildung 4.13: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH 93
Abbildung 4.14: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH 94
Abbildung 4.15: Amortisationslevel nach bautechnische Sanierungsvariante in Abhängigkeit der Haustechnikanlage beim MFH bei Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten 95
Abbildung 4.16: Amortisationslevel nach haustechnischen Sanierungsvarianten in Abhängigkeit der bautechnischen Sanierung unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten, [Eigene Darstellung] 96
Abbildung 4.17: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten, [Eigene Darstellung] 96
Abbildung 4.18: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH; berücksichtigt Umweltkosten neben Energiekosten, [Eigene Darstellung] 97
Abbildung 4.19: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH; berücksichtigt Umweltkosten neben Energiekosten, [Eigene Darstellung] 98
Abbildung 4.20: Kapitalwert der Sanierungsvarianten beim MFH; berücksichtigt Umweltkosten neben Energiekosten 99
Abbildung 5.1: Voranalyse der Datensätze 102
Abbildung 5.2: Heizwärmebedarf von Wohngebäuden 104
Abbildung 5.3: Heizwärmebedarf von Wohngebäuden nach Energieausweistyp 105
Abbildung 5.4: Spezifischer Heizwärmebedarf vom Bestand bezogen auf die Baualtersklasse 106
Abbildung 5.5: Spezifischer Heizwärmebedarf von Sanierungsfertigstellung bezogen auf das Jahr der Sanierung 107
Abbildung 5.6: Spezifischer Heizwärmebedarf von Neubaufertigstellung bezogen auf das Baujahr 108
Abbildung 5.7: Wohngebäude mit Photovoltaik-Anlage (letztgültige EA) 109
Abbildung 5.8: Wohngebäude mit Solarthermie (letztgültige EA) 110
Abbildung 5.9: Anteil an Wohngebäuden mit entweder nur Solarthermie, nur PV oder sowohl Solarthermie als auch PV (letztgültige EA) 111
Abbildung 5.10: Endenergiebedarf (letztgültige EA) 112
Abbildung 5.11: Eingesetzte Energieträger 113
Abbildung 5.12: Vergleich der eingesetzten Energieträger nach Auswertung der ZEUS-Datenbank und nach Statistik Austria 114
Abbildung 5.13: Eingesetzte Wärmeabgabesysteme bei Bestand, Neubau- und Sanierungsfertigstellung 115

Abbildung 5.14: Systemtemperaturen bei Flächenheizung und Heizung mit Radiatoren 116
Abbildung 5.15: Eingesetzte Energieträger bei Bestand (links) und Sanierungsfertigstellung (rechts) 117
Abbildung 5.16: Heizungsanlagen zugeteilt zu Energieträger Strom bei Bestand und Sanierungsfertigstellung 118
Abbildung 5.17: Vergleich des mittleren U-Werts zwischen Bestand und Sanierungsfertigstellung 119
Abbildung 5.18: Vergleich des HWB_{SK} zwischen Bestand (links) und nach der Sanierung (rechts) 120
Abbildung 5.19: Vergleich des HWB_{SK} von Gebäuden unterschiedlicher Baualtersklassen zwischen Bestand (links) und nach der Sanierung (rechts) 121
Abbildung 5.20: Vergleich des HWB_{SK} nach der Sanierung von Gebäuden in Abhängigkeit vom Sanierungsjahr 122
Abbildung 5.21: Vergleich zwischen Bedarf und HGT-bereinigten Verbrauch für Raumheizung 125
Abbildung 5.22: Vergleich zwischen spezifischen Bedarf und spezifischen HGT-bereinigten Verbrauch für Raumheizung 126
Abbildung 5.23: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch für Warmwasser, [Eigene Darstellung] 129
Abbildung 5.24: Vergleich zwischen spezifischen Bedarf und spezifischen Verbrauch für Warmwasser 130
Abbildung 5.25: Vergleich Bedarf und Verbrauch (Endenergie) eines EFH in Monatswertwerten 134
Abbildung 5.26: Jährlicher Vergleich Stromverbrauch mit dem Haushaltsstrombedarf 135
Abbildung 5.27: Primärenergiebedarf des EFH 137
Abbildung 5.28: Vergleich der Primärenergie zwischen Verbrauch von Fernwärme und Strom und der Einspeisung von Strom 138
Abbildung 5.29: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch an Endenergie (HGT bereinigt) für das Jahr 2012 140
Abbildung 5.30: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch der Fernwärme (Endenergie) für das Jahr 2012 142
Abbildung 6.1: Energiekennwerte von Mehrfamilienhaus 1 145
Abbildung 6.2: Primärenergetischer Vergleich der Wärme für Raumheizung und Warmwasser zwischen Energieausweis und den tatsächlicher Zählerdaten, Mehrfamilienhaus 1, [Eigene Darstellung] 145
Abbildung 6.3 Energiekennwerte vom Mehrfamilienhaus 2 147
Abbildung 6.4: Primärenergetischer Vergleich der Wärme für Raumheizung und Warmwasser zwischen Energieausweis und den tatsächlicher Zählerdaten, Mehrfamilienhaus 2 147
Abbildung 6.5: Vergleich der Bedarfswerte zwischen Mehrfamilienhaus 1 und Mehrfamilienhaus 2

..... 148
Abbildung 6.6: Primärenergetischer Vergleich der Wärme für Raumheizung und Warmwasser zwischen Energieausweis und den tatsächlicher Zählerdaten von Mehrfamilienhaus 1 zu Mehrfamilienhaus 2 149
Abbildung 6.7: Energiekennwerte vom Zweifamilienhaus 151
Abbildung 6.8: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch der Jahre 2012 bis 2014 an Endenergie für Wärme vom Zweifamilienhaus 152
Abbildung 6.9: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch der Jahre 2012 und 2013 an Endenergie für Wärme (WW + RH) vom Zweifamilienhaus 152
Abbildung 6.10: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch für Wärme vom Zweifamilienhaus 153
Abbildung 6.11: Vergleich Bedarf und Verbrauch von elektrischer Energie des Zweifamilienhaus 154
Abbildung 6.12: Energiekennwerte vom Einfamilienhaus 156
Abbildung 6.13: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch (Primärenergie) für Wärme und Strom des Einfamilienhauses, bei Eigenbedarfsdeckung des Haushaltsstrombedarfs 156
Abbildung 6.14: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch (Primärenergie) für Wärme und Strom des Einfamilienhauses, bei Eigenbedarfsdeckung des Haushaltsstrombedarfs und Hilfsstrombedarfs 157
Abbildung 6.15: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch (Primärenergie) für Wärme und Strom des Einfamilienhauses, bei Eigenbedarfsdeckung des Haushaltsstrombedarfs und Hilfsstrombedarfs samt Berücksichtigung der Überschusseinspeisung 157
Abbildung 6.16: Abweichung zwischen Bedarf und Verbrauch 158
Abbildung 8.1: Cover und Inhaltsverzeichnis der Broschüre „Sanieren heute – Wegweiser zum Niedrigstenergiehaus“ http://www.salzburg.gv.at/sanieren_heute.pdf 167
Abbildung 8.2. Beispiel Funktionsschema für die funktionalen Beschreibungen 168
Abbildung 9.1. Vergleich verschiedener Verschattungsberechnung anhand einer vertikalen Fassade mit den Ausrichtungen Süd, Ost/West und Nord 170
Abbildung 9.2. Dreidimensionales Sonnenstandsdiagramm aus der Software Ecotect 172
Abbildung 9.3. Verlauf des Horizonts mit Sonnenlauf für Winter und Sommer für den Standort der FH Salzburg am Campus Kuchl 172
Abbildung 9.4. Sonnenstandsdiagramm für Salzburg 173
Abbildung 9.5. Verschattungsstudie in ArchiCad 174
Abbildung 9.6. Verschattungsstudie in Autodesk Revit Architecture 2012 174
Abbildung 9.7. Verschattungsstudie in VectorWorks 174
Abbildung 9.8. Totale Einstrahlung in Autodesk Ecotect 174
Abbildung 9.9. Totale Einstrahlung in Autodesk Project Vasari 2.1 174
Abbildung 9.10. Berechnungsergebnis Design Performance Viewer 174
Abbildung 9.11. Beispiel-Verschattungssilhouette eines Raumes 175
Abbildung A.1: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim

Büro ..... g
Abbildung A.2: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro ..... h
Abbildung A.3: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro ..... h
Abbildung A.4: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro i
Abbildung A.5: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro i
Abbildung A.6: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro ..... j
Abbildung A.7: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro ..... j
Abbildung A.8: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro ..... k
Abbildung A.9: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro ..... k
Abbildung A.10: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten l
Abbildung A.11: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten l
Abbildung A.12: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... m
Abbildung A.13: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... m
Abbildung A.14: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... n
Abbildung A.15: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... n
Abbildung A.16: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... o
Abbildung A.17: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... o
Abbildung A.18: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... p
Abbildung A.19: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim EFH modern ..... q
Abbildung A.20: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern ..... q
Abbildung A.21: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern ..... r
Abbildung A.22: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern ..... r
Abbildung A.23: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern ..... s
Abbildung A.24: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern ..... s
Abbildung A.25: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern ..... t
Abbildung A.26: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern ..... t
Abbildung A.27: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern ..... u
Abbildung A.28: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... u

Abbildung A.29: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten v
Abbildung A.30: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten v
Abbildung A.31: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... w
Abbildung A.32: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... w
Abbildung A.33: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten x
Abbildung A.34: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten x
Abbildung A.35: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... y
Abbildung A.36: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... y
Abbildung A.37: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim EFH klassisch ..... z
Abbildung A.38: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch ..... z
Abbildung A.39: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch ..... aa
Abbildung A.40: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch ..... aa
Abbildung A.41: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch..... bb
Abbildung A.42: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch ..... bb
Abbildung A.43: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch cc
Abbildung A.44: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch ..... dd
Abbildung A.45: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch ..... dd
Abbildung A.46: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten..... ee
Abbildung A.47: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... ee
Abbildung A.48: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... ff
Abbildung A.49: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... ff
Abbildung A.50: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... gg
Abbildung A.51: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... gg
Abbildung A.52: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter

Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... hh
Abbildung A.53: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ..... hh
Abbildung A.54: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten ii

12.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Treibhausgasemissionen 22
Tabelle 3.2: Durchschnittliche Abmessungen von Baustrohballen 30
Tabelle 3.3: Zahlenmäßige Darstellung des Gebäudebestands der Bezirke von Salzburg bei der Registerzählung 2011 in Abhängigkeit des Erbauungszeitraums 33
Tabelle 3.4: Marktübersicht für WDVS-Dämmstoffe 35
Tabelle 3.5: Taupunktunterschreitung einer monolithischen Wand (Variante 1) und Wand mit WDVS (Variante 2) 42
Tabelle 3.6: IBO-Richtwerte für Dämmstoffe, Funktionale Einheit kg 48
Tabelle 3.7: Stoffgruppen und Mengenschwellen der Baurestmassentrennverordnung 57
Tabelle 3.8: Heizwert ausgewählter organischer Dämmstoffe 58
Tabelle 3.9: DVO 2008 Anhang 2, Liste 1 59
Tabelle 3.10: DVO 2008 Anhang 2, Liste 2 59
Tabelle 3.11: Übersicht über In- und Outputflüsse und Arbeitsaufwand beim Rückbau unterschiedlicher WDVS, ... 67
Tabelle 3.12: Massen und Volumsbilanz beim WDVS-Rückbau 68
Tabelle 3.13: Hauptanbaugebiete von Schilfrohr 71
Tabelle 3.14: Stroherträge unterschiedlicher Getreidearten 73
Tabelle 3.15: Zusammensetzung von Hanf 74
Tabelle 5.1: Anzahl an ausgeschiedenen und ausgewerteten Daten der Energiebuchhaltung 123
Tabelle 5.2: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch von Raumheizung 124
Tabelle 5.3: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch für Warmwasser 127
Tabelle 5.4: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch für Warmwasser [Eigene Darstellung] 128
Tabelle 5.5: Vergleich der drei Bestandsenergieausweise (Variablen mit unterschiedlichen Werten dargestellt) 131
Tabelle 5.6: Vergleich ausgewällter Daten zwischen Bestand und Sanierungsfertigstellung 132
Tabelle 5.7: Primärenergiebedarf 136
Tabelle 5.8: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch (Endenergie) von RH 139
Tabelle 5.9: Vergleich zwischen Bedarf und Verbrauch der Fernwärme (Endenergie) 141
Tabelle 6.1: Kenndaten Mehrfamilienhaus 1 144
Tabelle 6.2: Kenndaten Mehrfamilienhaus 2 146

Tabelle 6.3: Kenndaten Zweifamilienhaus 150
Tabelle 6.4: Kenndaten Einfamilienhaus 155

12.4 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
AWG	Abfallwirtschaftsgesetz	
CDT	Cyclododecytrien	
CG	Schaumglas	
DVO	Deponieverordnung	
EFH	Einfamilienhaus	
EPS	Expandiertes Polystyrol	
FD	Flachdach	
FW	Fernwärme	
GWP	Treibhauspotenzial, Global Warming Potential	kg $CO_{2eq.}$
HBCD	Hexabromcyclododecan	
Ho	oberer Heizwert	MJ
Holz (Heizung bei Mustergebäude)	Scheitholz	
Hu	unterer Heizwert	MJ
HBW	Helligkeitsbezugswert	
HWB	Heizwärmebedarf	kWh/a od-kWh/m².a
ICB	Expandierter Kork	
MFH	Mehrfamilienhaus	
MGWB	Mehrgeschossiger Wohnbau	
MS	Mineralschaum	
MW	Mineralwolle	
No_x	Stickoxid	
ODP	Ozonbeschädigungspotenzial	
OGD	Oberste Geschossdecke	
PC	Polycarbonat	
PEI	Primärenergieinhalt	MJ
PEI e.n.	Primärenergieinhalt aus erneuerbaren Ressourcen	MJ
PEI n.e.	Primärenergieinhalt aus nicht erneuerbaren Ressourcen	MJ
PET	Polyethylenterephthalat	
PF	Phenolharz-Hartschaum	

PIR	Polyisocyanurat	
ppb	parts per billion	
ppm	parts per million	
PUR	Polyurethan Hartschaum	
PV	Photovoltaik	
SO_2	Schwelfeldioxid	kg $SO_{2eq.}$
TOC	organischer Kohlenstoff	
U-Wert	Wärmedurchgangsko-effizient	$W/m^2.K$
VIPs	Vakuum-Isolations-Paneele	
WDVS	Wärmedämmverbundsystem	
WF	Holzweichfaserdämmstoff	
WP F	Wärmepumpe Sole-Wasser mit Flächenkollektor	
WP Luft	Wärmepumpe Luft-Wasser	
WP T	Wärmepumpe Sole-Wasser mit Tiefenbohrung	
WW	Holzwolle	
XPS	Extrudierter Polystyrolschaum	
λ	Wärmeleitfähigkeit	W/(m.K)

Anhang

Plausibilitätsanalyse

Variable	Kriterium für Filter
Status	Storniert, nicht ok
Baujahr	< 800, oder kein eindeutiger Wert
Endenergie	≤ 0
Mittlerer U-wert	≤ 0
Charakteristische Länge	≤ 0
Heizenergiebedarf für Wohngebäude Standortklima	≤ 0
HWB Standortklima	Zusammenlegen mit HWB mit RLT
Lüftungsleitwert	≤ 0
Innere Gewinne	≤ 0
Lüftungswärmeverlust	≤ 0
Falsche Innentemperatur	In Abhängigkeit des Gebäudetyps

Anmerkung zu Bedarf Verbrauch Vergleich

- Eine Auswertung mit dem Zeus-Export wäre nicht möglich gewesen. Für den Vergleich musst der EA bzw. das geq-File herangezogen werden. Folgende Variablen wurden verwendet:
  - HEB_{RH}
  - HGT
  - WWWB
  - Verluste der Wärmeabgabe (WW)
  - BGF

- Für die HGT-Bereinigung wurden Klimadaten aus dem Jahr der Zähleraufzeichnung benötigt.
- Die Lage des Zählers ist unbekannt.

- Der eingesetzte Energieträger laut Energiebuchhaltung stimmt zum Teil nicht mit dem im EA angegebenen Energieträger überein.
- Eventuell zu regelmäßiges Ablesedatum bei Energiebuchhaltung. Bei den meisten Datensätzen wurde am selben Tag pro Monat, z.B. im 1. Jedes Monates abgelesen. Es kann kritisch hinterfragt werden, ob beim MGWB an Feiertagen wie Neujahr oder 1. Mai tatsächlich der Zählerstand abgelesen wird. Diese Annahme macht aber nur einen kleinen Teil der Unschärfe dieses Vergleichs aus.
- Viel wichtiger ist der Einfluss der Nutzer. Werden alle Räume, wie im Energieausweis, auf 20°C konditioniert? Aus dieser Unschärfe ergeben sich größere Abweichungen.
- Die Einheiten werden teilweise beim Ablesen der Zähler nicht korrekt in die Energiebuchhaltung eingeben. Bspw. kWh anstatt MWh und kWh anstatt m^3.

Problemauflistung Big Energy Data

Problem	Problembeschreibung
EA mit derselben Objekt-ID	Für ein Objekt findet man teilweise mehrere Bestand-, Planungs- und/oder Fertigstellungs-EA für unterschiedliche Zwecke in der Datenbank, z.B. derselbe EA doppelt: einmal für Sanierungsscheck und einmal für WBF
Warmwasserwärmebedarf	Die Variable Warmwasserwärmebedarf existiert zweimal, teilweise nur Eintrag bei WWWB in Spalte GK und teilweise nur Eintrag bei WWWB Spalte FY und teilweise bei beiden Spalten.
(Raumwärme) Hilfsenergie	„Hilfsenergie“ [W] = Hilfsenergiebedarf [kWh/a]
Nutzungseinheiten im ganzen Gebäude	Nur bei 274 von 34430 Datensätze ist ein Wert eingetragen (Datenstand Juni 2014)
Nutzungszonen im ganzen Gebäude	Nur bei 278 von 34430 Datensätze ist ein Wert eingetragen (Datenstand Juni 2014)
Probleme Export	Kein Wert im Export, obwohl ein Wert im Energieausweis vorhanden wäre. Bsp.: ID 35xxx ist eine Länge für Verteil-, Steig-, und Stichleitung im EA, aber keine Leitungslänge im Export Bsp.: ID 49xxx ist ein EEB zonenbezogen von rund

	55.000 kWh/a im EA, aber 0 im Export
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur	3,1 % Wert 0 und 39 % fehlender Wert (auch XML 3.1)
Tiefe der Unterteilung bei Auswertungen	Eine sehr tiefe Unterteilung ist, durch die geringe Datengrundlage, oftmals nicht sinnvoll. Z.B. Betrachtung einer Variablen mit unterschiedlichen Gebäudetypen und Baualtersklassen zugleich.
Variablenbezeichnung	Es gibt Variablenbezeichnungen, die nicht eindeutig sind und nur bei der Lage im Export zugeordnet werden können.
Hilfsenergie solarthermische Anlage	Falsche Berechnung! Bsp.: ID 21xx: Hilfsenergie laut ZEUS = 1471 W; Laut geq in Summe 737 W
Raumlufttechnik	Im Export gibt es Abluftanlagen mit einem angegebenen Wert für den Wärmewirkungsgrad. Bei der Kontrolle von vereinzelten EA zeigte sich, dass im geq- File korrekt Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgewählt war. Der EA war auch korrekt.
Abluftanlagen	Im Export gibt es Datensätze mit Raumlufttechnik Art Abluftanlage, die „ „ (leeres Feld) aufweisen. Die Stichprobenkontrolle der geq-File zeigte, dass bei diesen Objekten natürliche Lüftung und nicht Abluftanlage ausgewählt wurde. Im EA ist keine Lüftungsanlage ersichtlich.
Schwimmbad beheizt (BN) und Sonstige Wärmeabnehmer (BO)	Keine Möglichkeit zur Eingabe
Personen im Haushalt	Nur 266 Datensätze, alle von ecotech
Vorlauftemperatur / Rücklauftemperatur	Es gibt 2679 Datensätze von Heizungen, bei welchen es keine Vor- und Rücklauftemperatur geben sollte (= Kachelofen, Einzelofen, Stromdirekt und Herd). Nur bei 1359 dieser Heizungen ist tatsächlich keine Vor- und Rücklauftemperatur (kein Wert 283 bzw. 1076 mit Wert 0) angegeben.(Datenstand Juni 2014)

Kontrollierte Wohnraumlüftung	Es gibt 50 Datensätze mit Raumlufttechnik Art kontrollierte Wohnraumlüftung, die einen Wärmerückgewinnungsgrad von 0 aufweisen. Die 6 betrachteten geq-file zeigten, dass 2 x Abluftanlage, 1 x Lüftung mit Wärmerückgewinnung ausgewählt wurde. Bei den restlichen 3 wurde keine Art der Lüftung ausgewählt, aber der Wert für den energetisch wirksamen Luftwechsel verändert. (Datenstand Juni 2014)
Wirkungsgrad	Wirkungsgrade (Gesamte Wärmerückgewinnungsgrad, Lüftungsgerät Wirkungsgrad und Erdwärmetaucherwirkungsgrad) teilweise Angabe nicht in Prozent, z.B. EA 40706 hat einen Wert von 0,5 bei Lüftungsgerätwirkungsgrad angegeben anstatt 50% (Vorgabe laut Export und Mehrheit der Daten in Prozent)
Baujahr	Unrealistische und automatisiert nicht auswertbare Eingaben, z.B. Baujahr 88, 1952/52 oder ?
Nutzungseinheiten im Energieausweis	Wert von 0
Volumen (Speicher Raumheizung)	Beim Volumen des Speichers gibt es keine Einschränkung bei der Eingabe der Werte. Bsp. Wenn ein Pufferspeicher mit 0 l Volumen eingegeben wird verändern sich die Werte gegenüber, wenn kein Speicher vorhanden gewählt wird. Es finden sich auch Angaben von Speichervolumen, die am Markt tatsächlich nicht verfügbar sind.
Jahresarbeitszahl	JAZ von 13 und 19 als unglaubwürdige Werte beim EA berechnet
Probleme EA	Wert im Energieausweis nicht vorhanden, obwohl bei Neuausstellung mit beigefügten geq-File ein Wert im Energieausweis aufscheinen würde.
Volumen (Speicher WW)	Beim Volumen des Speichers gibt es keine Einschränkung bei der Eingabe der Werte.

d

Fehlende Werte	Bei den Auswertungen bestimmten Variablen muss ein sehr hoher Anteil der Datensätze ausgeschossen werden. Z.B. gibt es HWB Referenzklima erst ab der XML-Version 3.1
Einträge in Energiebuchhaltung	Zum Teil keine Einträge bei Zählern Nur wenige Einträge und sehr unregelmäßig Sehr oft: keine Einträger über einen längeren Zeitraum - nur ein paar Monate, aber kein Jahr
Energiebuchhaltung vergleichen mit Energieausweis	Problematik wie bei beim Punkt Energiebuchhaltung + zusätzlich: Oftmals nur Zähler für Produktion (PV) Kein EA zum Vergleich Nicht alle für Vergleich benötigten Daten im Export Lage des Zählers unbekannt EA stimmt mit Buchhaltung nicht überein z.B. Energieträger Falsche Einheiten in der Buchhaltung kWh anstatt MWh oder kWh anstatt m^3 Klimadaten aus dem Jahr der Zähleraufzeichnung benötigt (HGT-Bereinigung)
Mehrgeschossiger Wohnbau	Seit Mitte 2011 gibt es die Gebäudekategorie Mehrgeschossiger Wohnbau im EA nicht mehr, sie gehört nun der Kategorie Mehrfamilienhaus an.
Nutzungszonen und Nutzungseinheiten im Energieausweis	Die Nutzungszonen (= Gebäudetypen) stimmen mit den üblicherweise zugeordneten Nutzungseinheiten nur bedingt überein.
Objekt-ID	Energieausweise von unterschiedlichen Gebäuden weisen dieselbe Objekt-ID auf. Z.B. Objekt-ID 37xxx ordnet die Energieausweise ID 49xxx mit der Adresse: Ledererstraße xx, 5632 Dorfgastein und ID 45xxx mit der Adresse: Unterdorferstraße xx, 5632 Dorfgastein zusammen. Obwohl es sich hierbei um gänzlich un-

	terschiedliche Gebäude handelt stimmen im Export die Größen, Adresse, Grundbuch, EZ usw. überein.
Nutzungszone und Objekt-ID	Vergleich von Bestand und Fertigstellung kann fehlerhaft sein, wenn Nutzungszone falsch im EA eingegeben. Z.B. Objekt-ID 41xxx: Der Bestand ist von Wohnungen und der Fertigstellungs-EA von den Geschäften im EG. Problem: Beim Export lässt sich das nicht erkennen, da bei beiden EA (xxx45, xxx44) Nutzungszone Mehrfamilienhaus eingegeben wurde.
Innentemperatur	Die Innentemperatur entspricht oft nicht mit den Vorgaben der Ö-Norm B 8110-5.

f

Weitere Ergebnisse von Mustergebäuden – Break Even Point in der Sanierung

Die Darstellung sämtlicher Ergebnisse aus der Analyse würde den Umfang dieses Endberichts übersteigen. Bei Interesse zu nicht dargestellten Auswertungen der einzelnen Mustergebäude kontaktieren Sie bitte die FH Salzburg unter smart.forschung@fh-salzburg.ac.at

Büro – Ergebnisse unter Berücksichtigung der Energiekosten

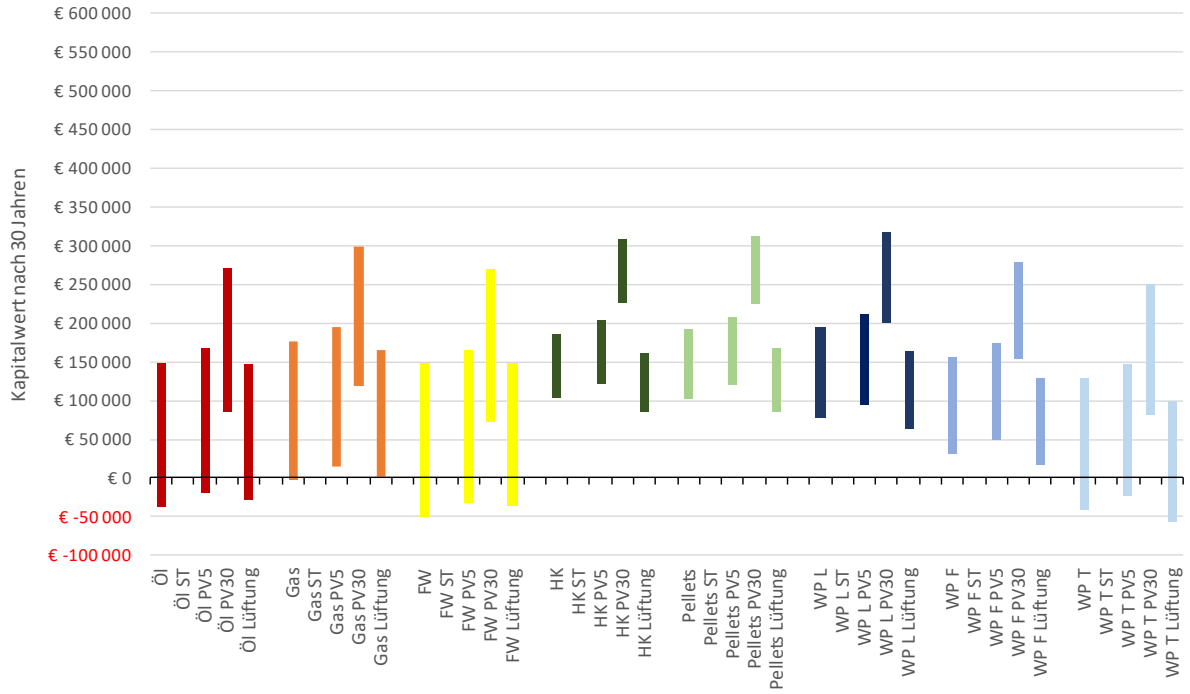


Abbildung A.1: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim Büro

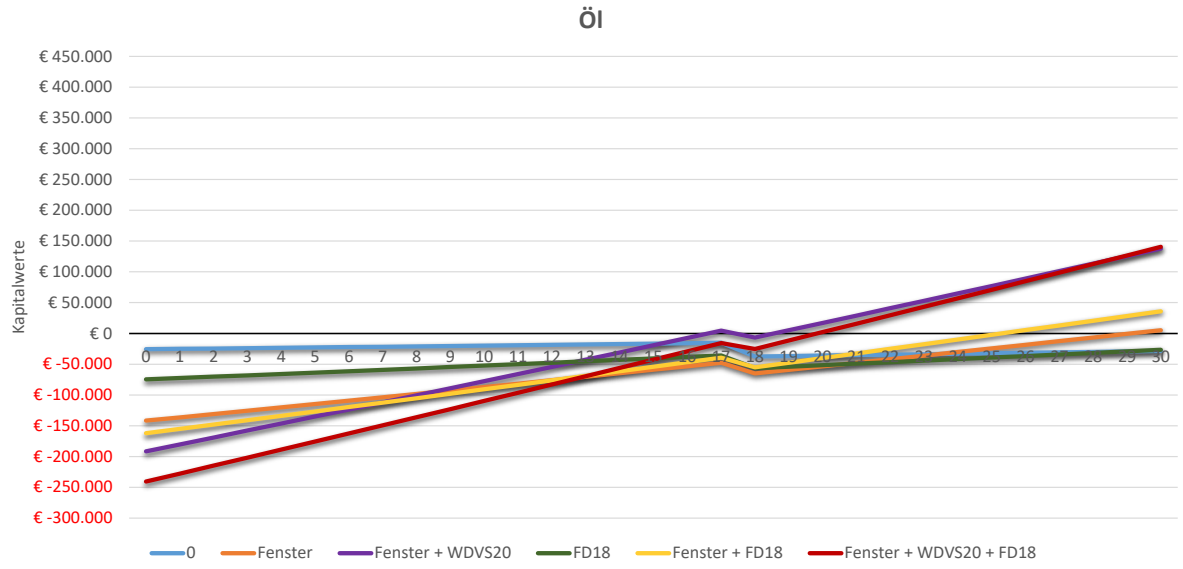


Abbildung A.2: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro

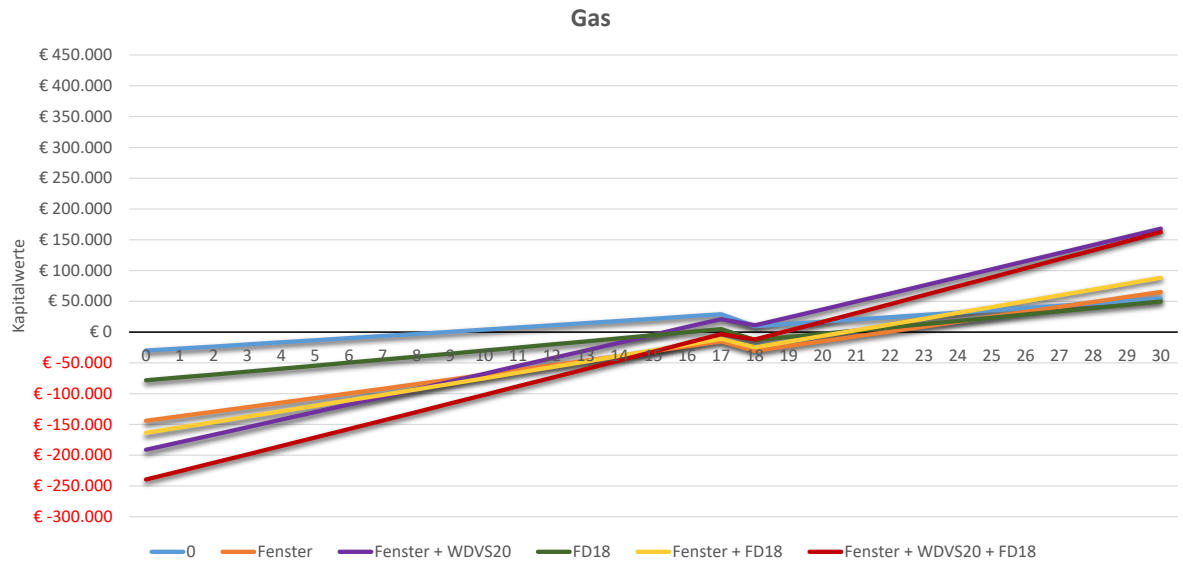


Abbildung A.3: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro

h

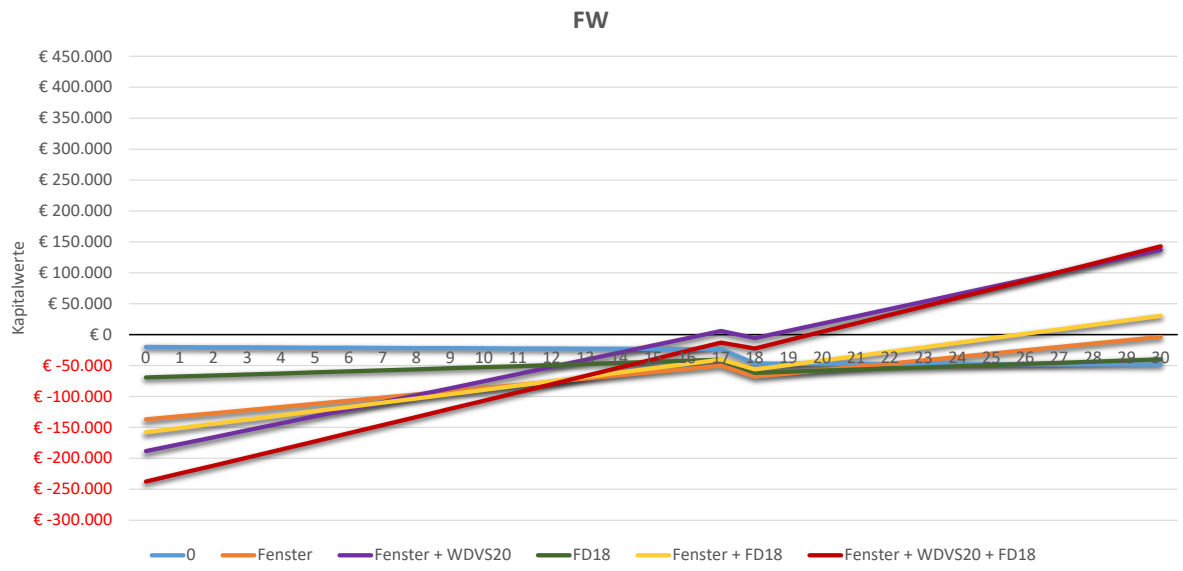


Abbildung A.4: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro

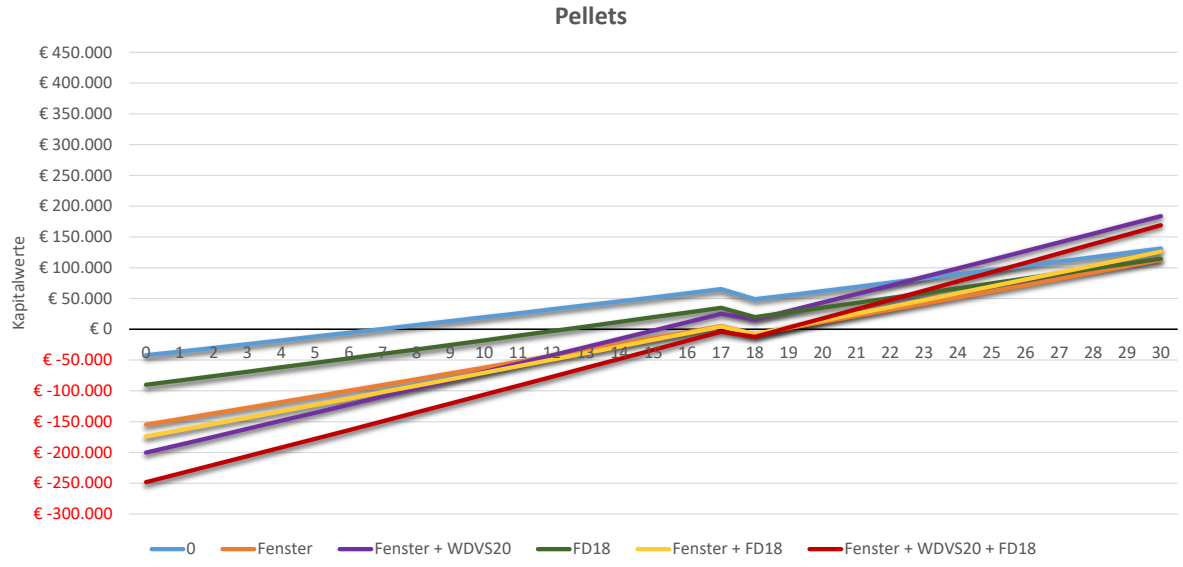


Abbildung A.5: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro

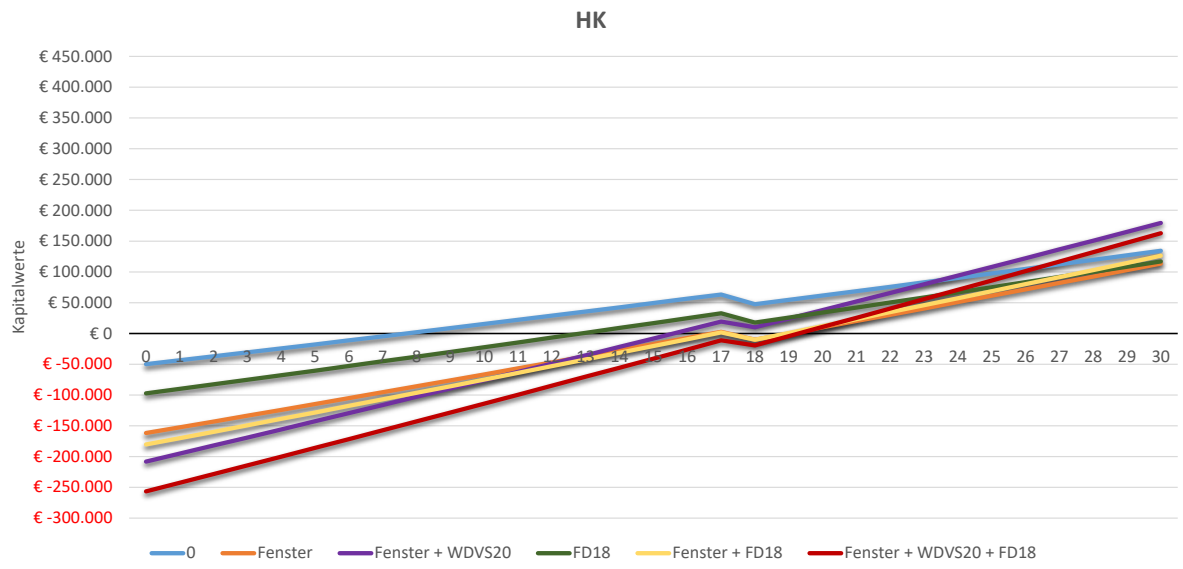


Abbildung A.6: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro

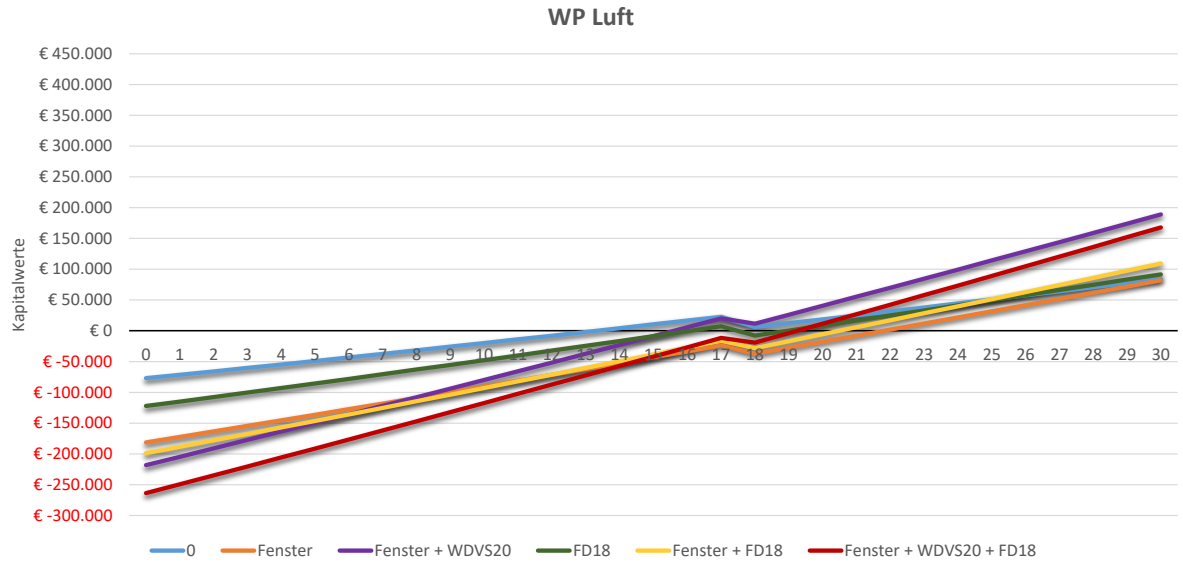


Abbildung A.7: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro

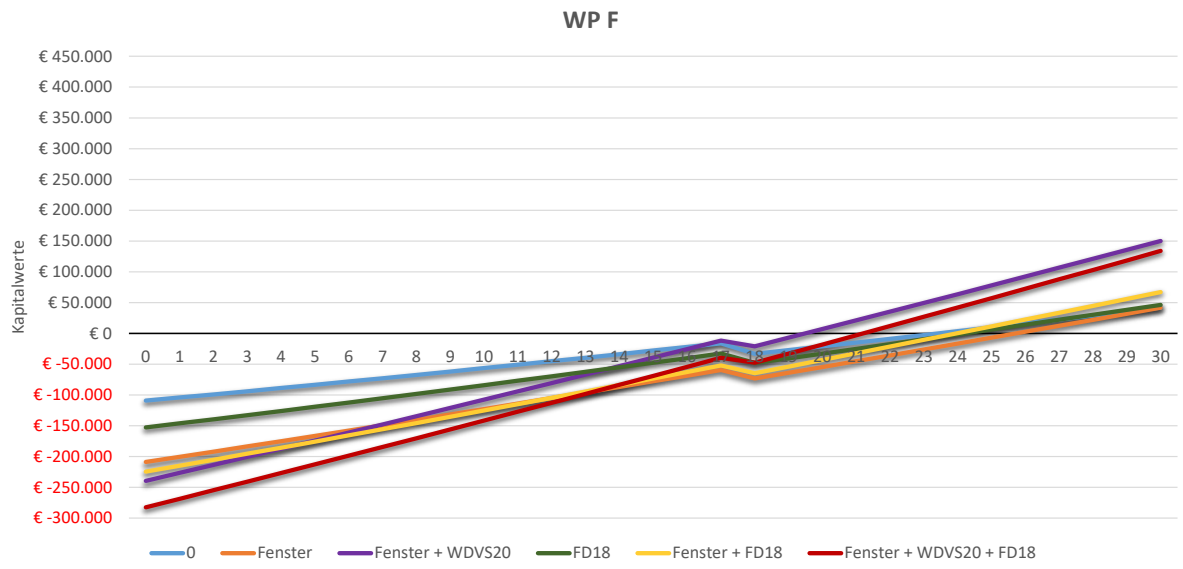


Abbildung A.8: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro

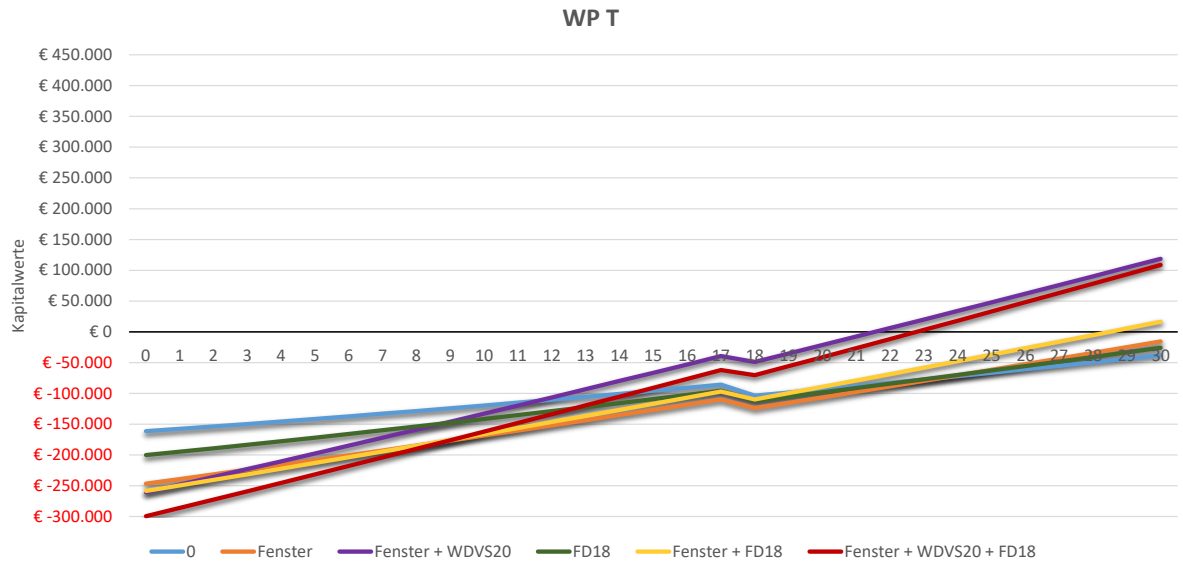


Abbildung A.9: Kapitalwert ausgewählter Sanierungsvarianten beim Büro

Büro – Ergebnisse unter Berücksichtigung der Energiekosten und Umweltkosten

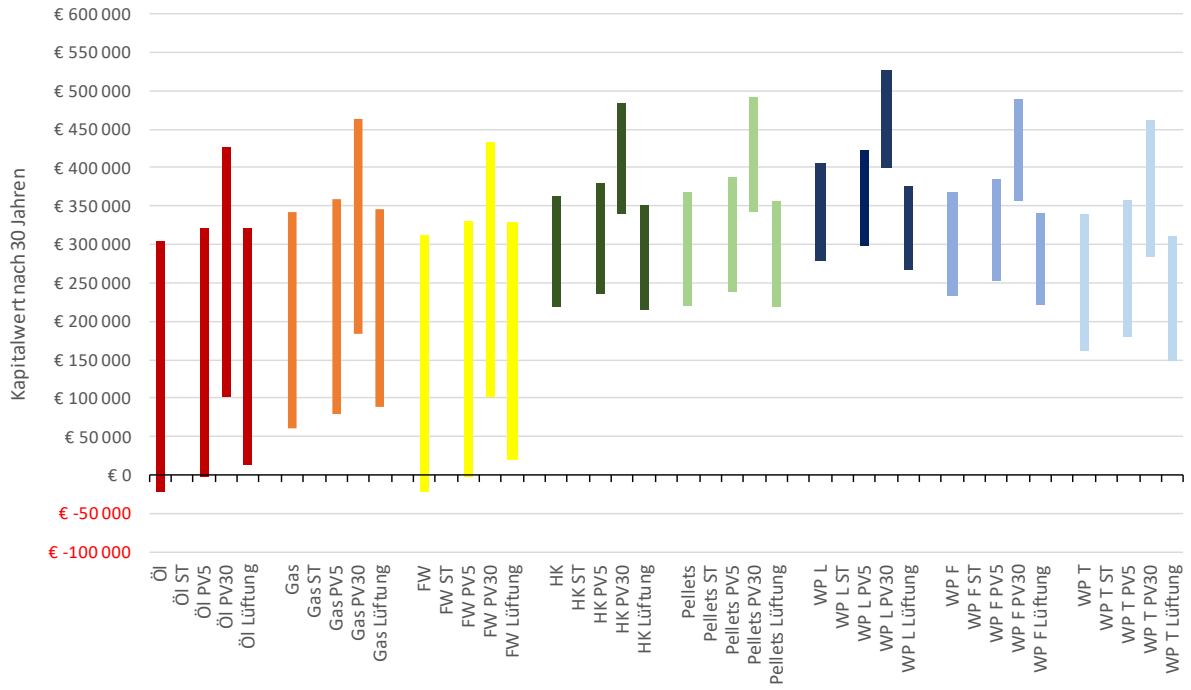


Abbildung A.10: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

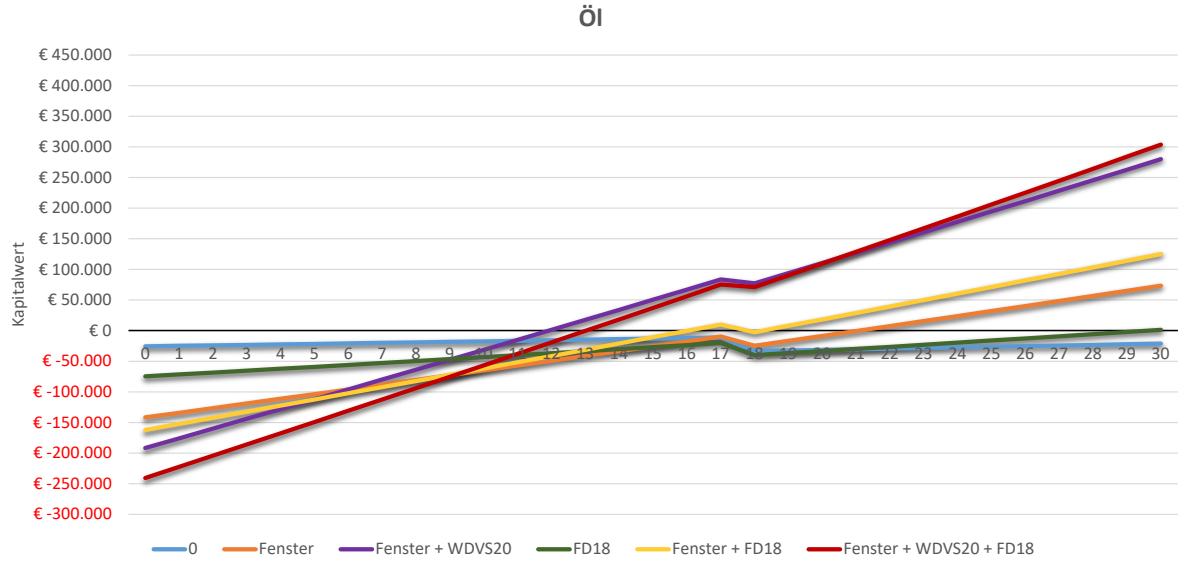


Abbildung A.11: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

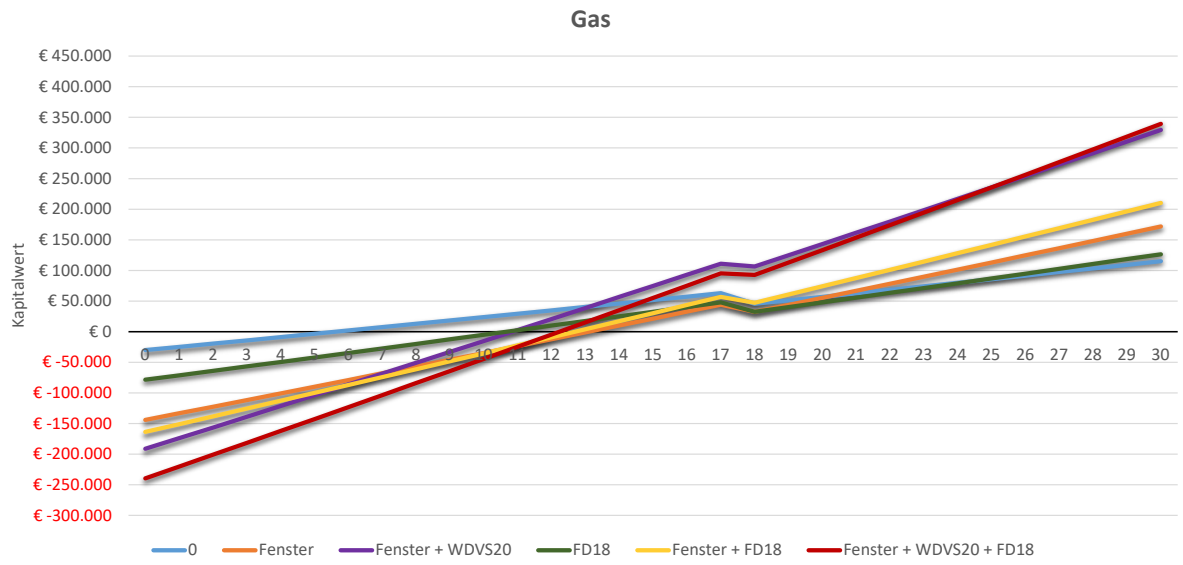


Abbildung A.12: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

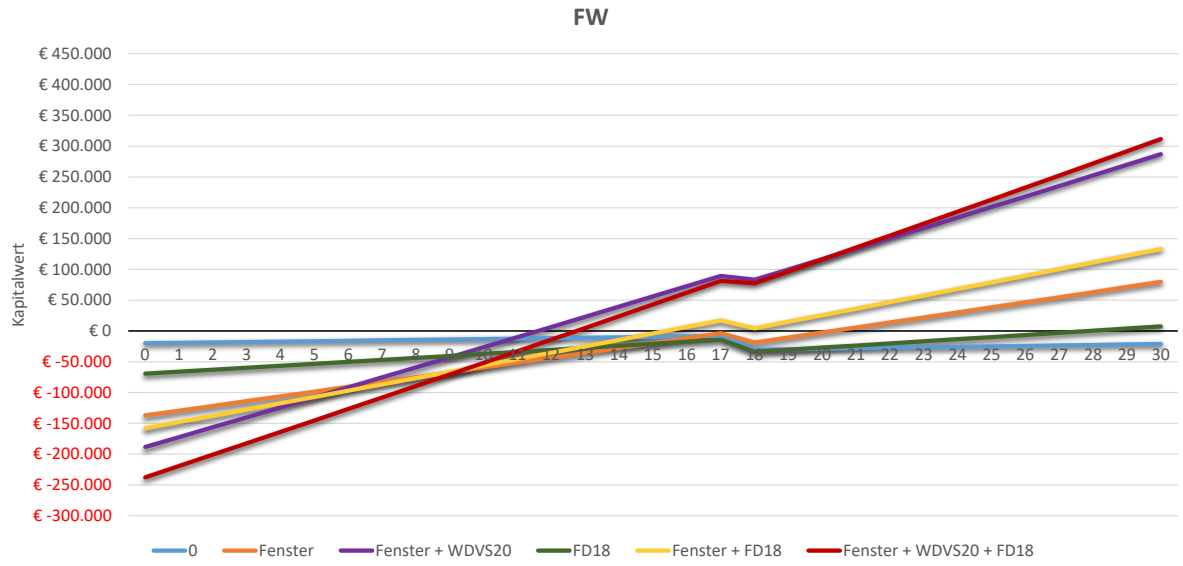


Abbildung A.13: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

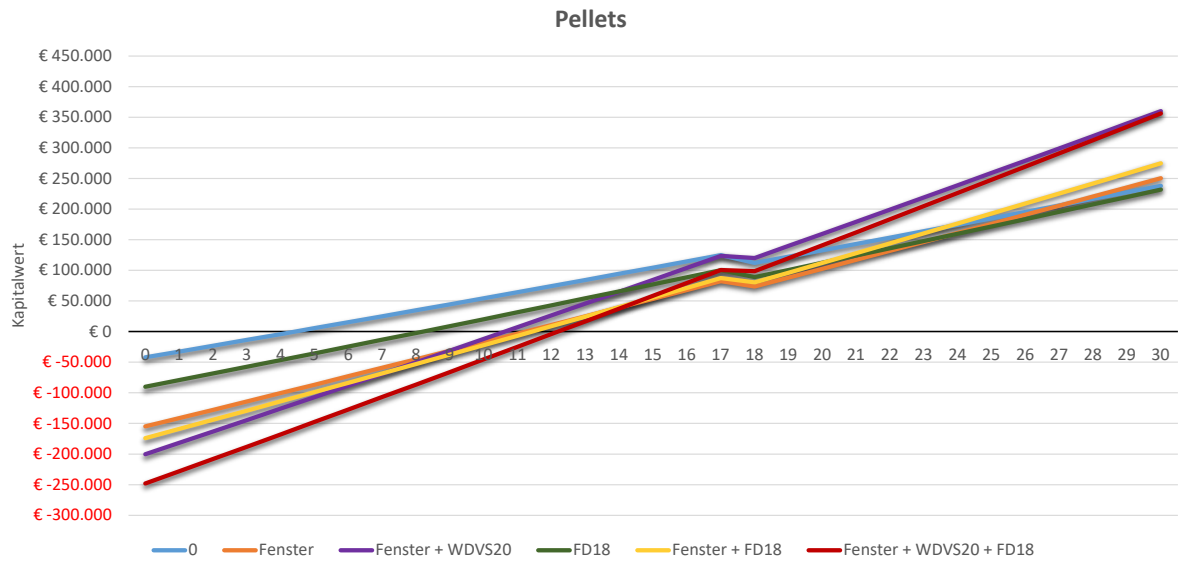


Abbildung A.14: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

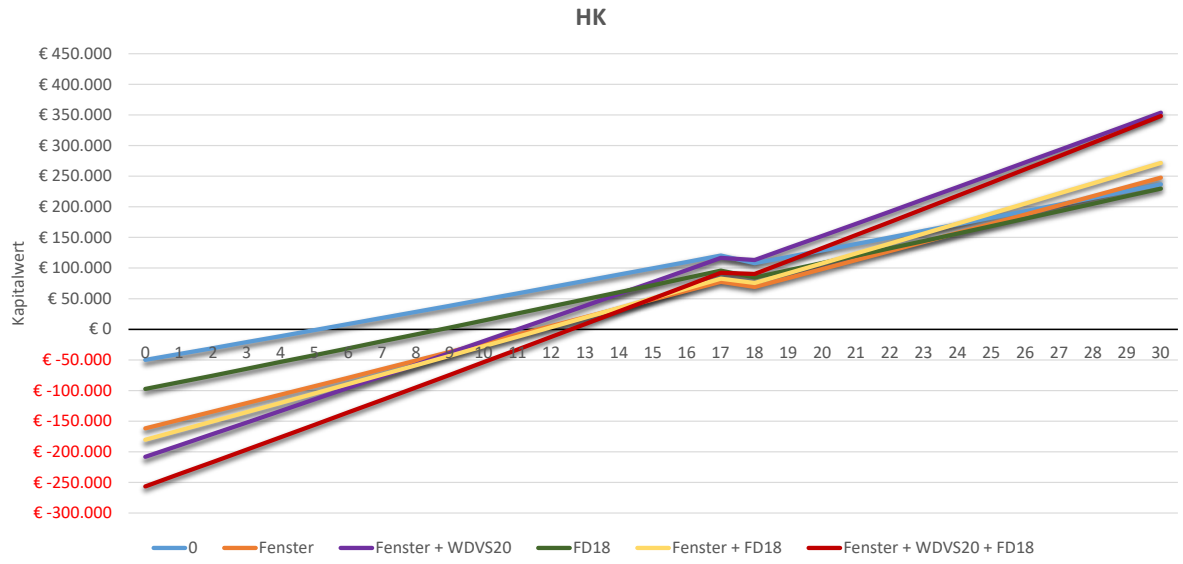


Abbildung A.15: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

n

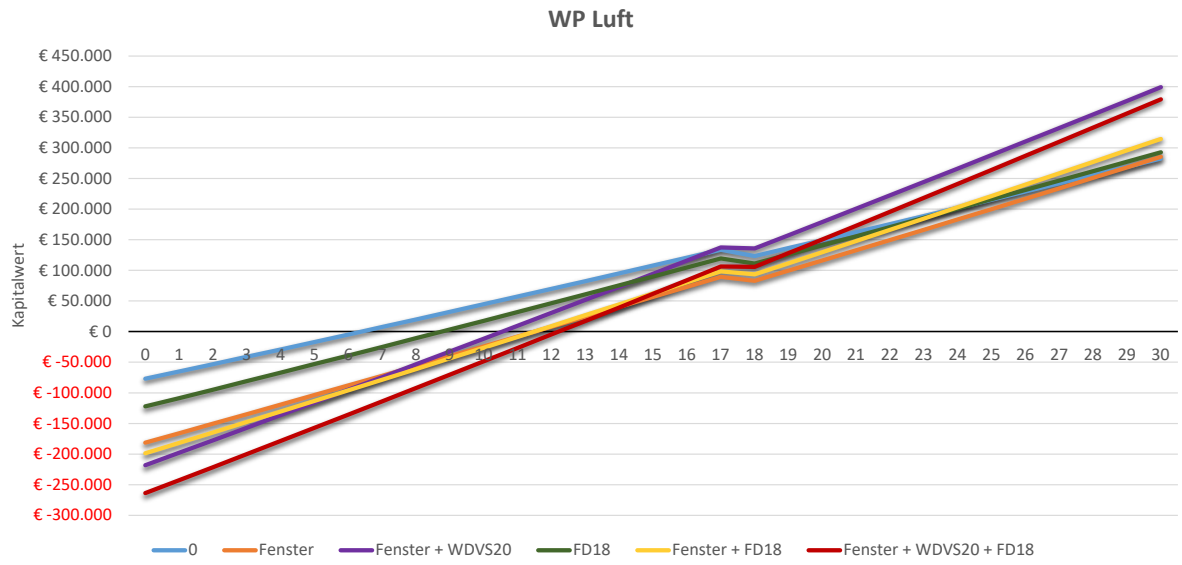


Abbildung A.16: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

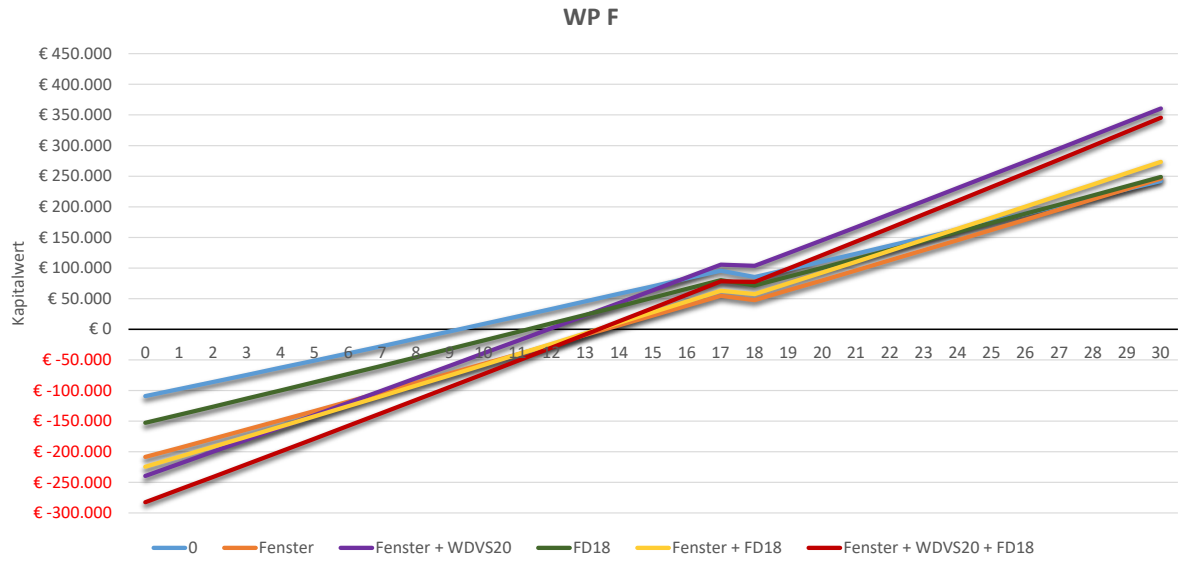


Abbildung A.17: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

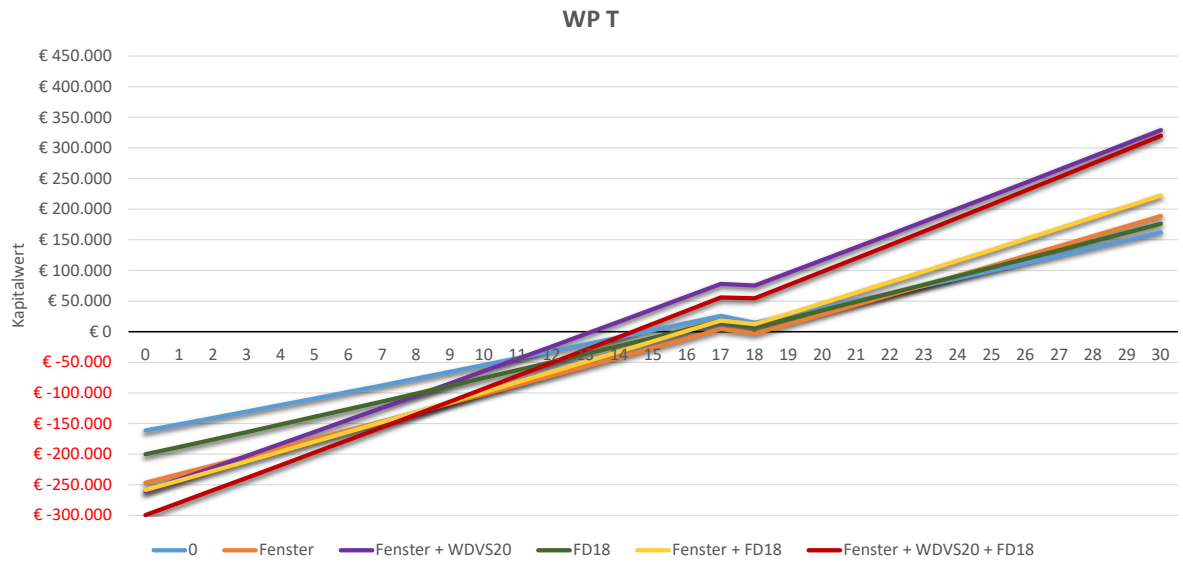


Abbildung A.18: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim Büro unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

p

EFH modern – Ergebnisse unter Berücksichtigung der Energiekosten

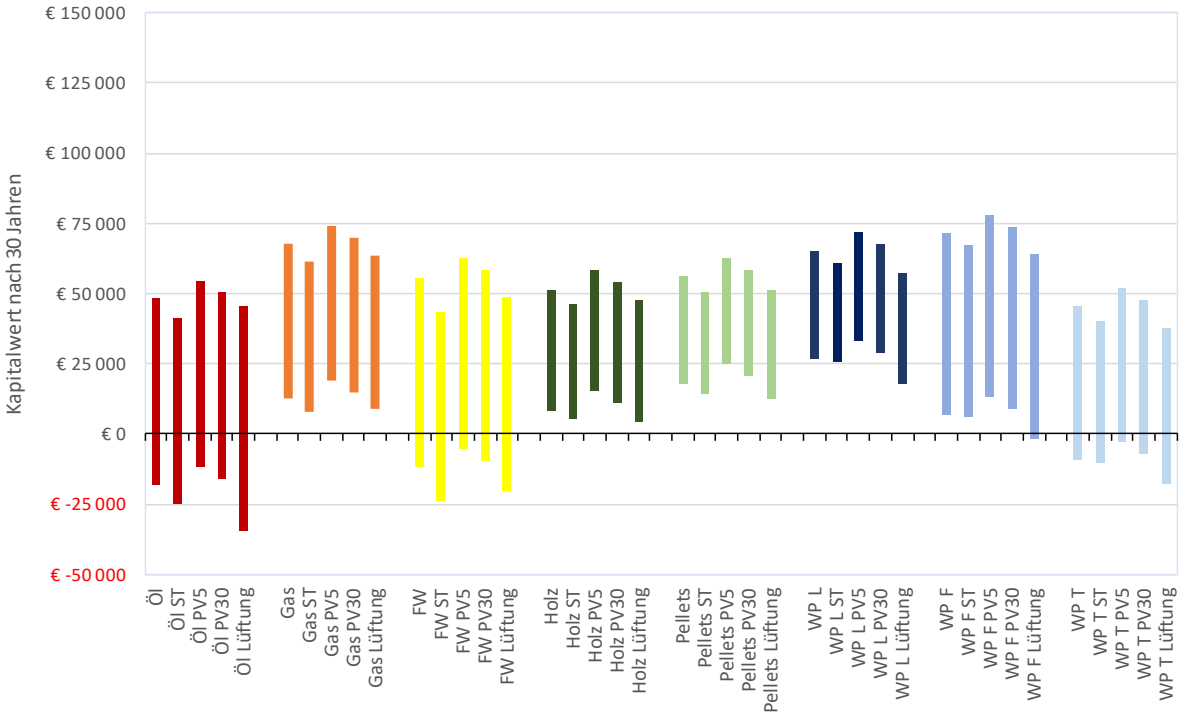


Abbildung A.19: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim EFH modern

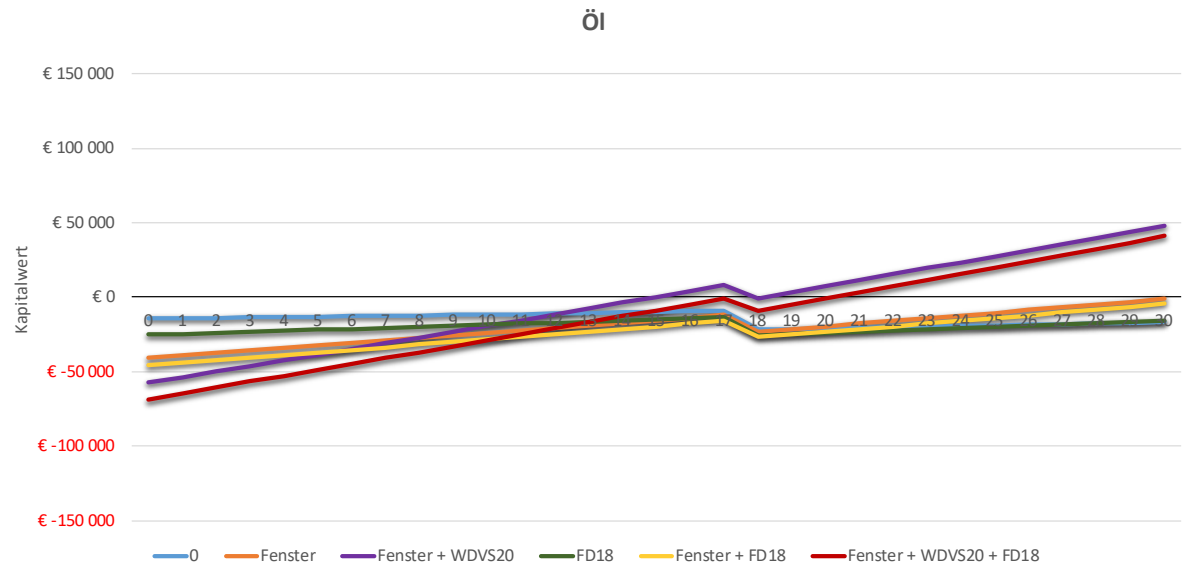


Abbildung A.20: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern

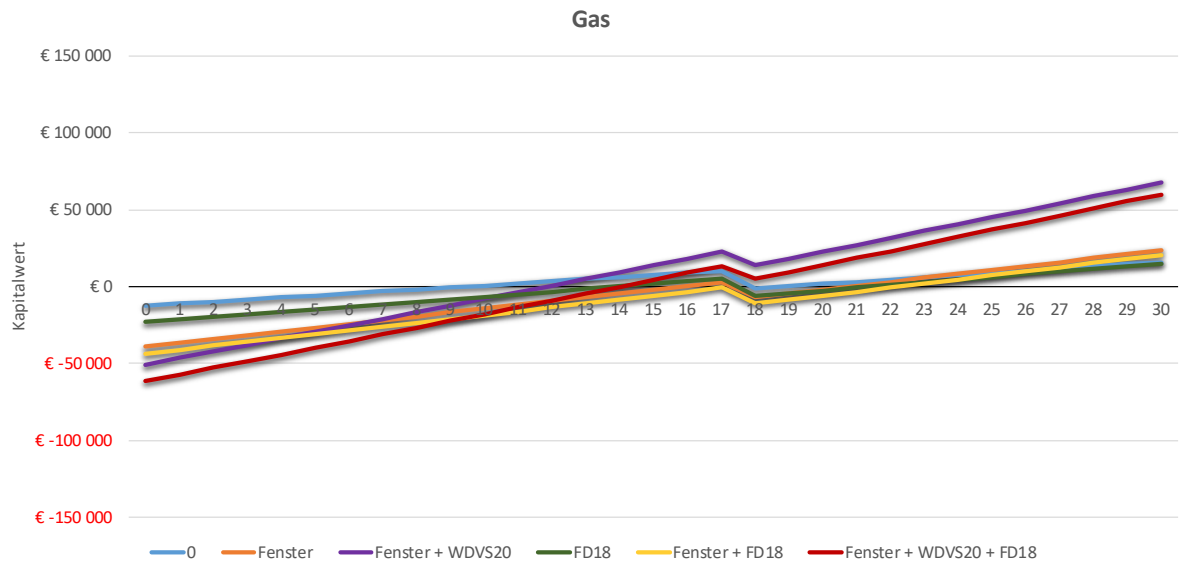


Abbildung A.21: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern

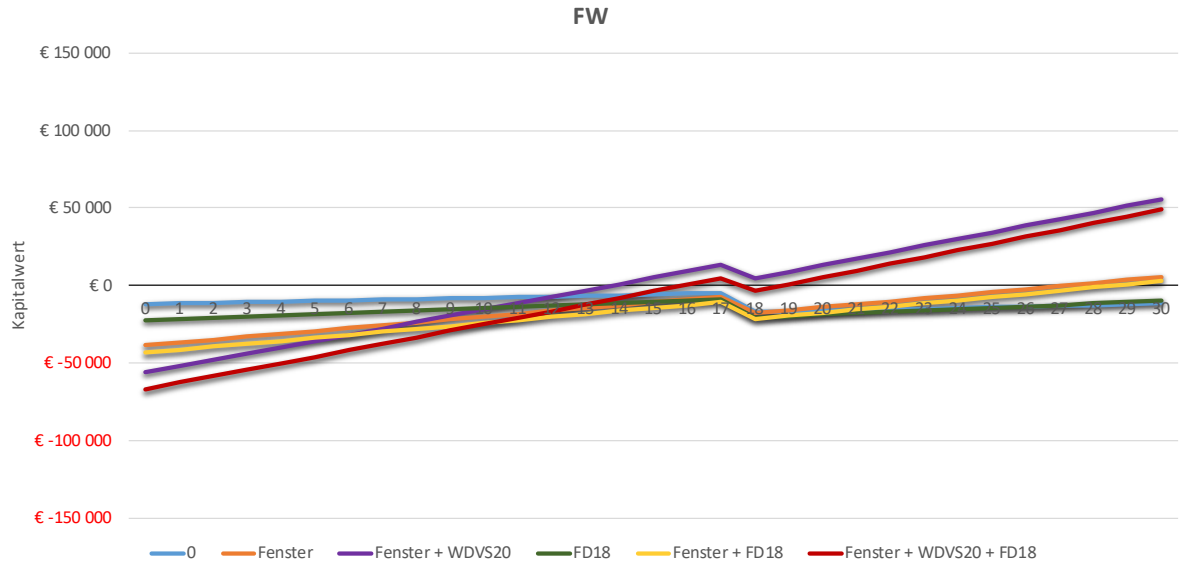


Abbildung A.22: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern

r

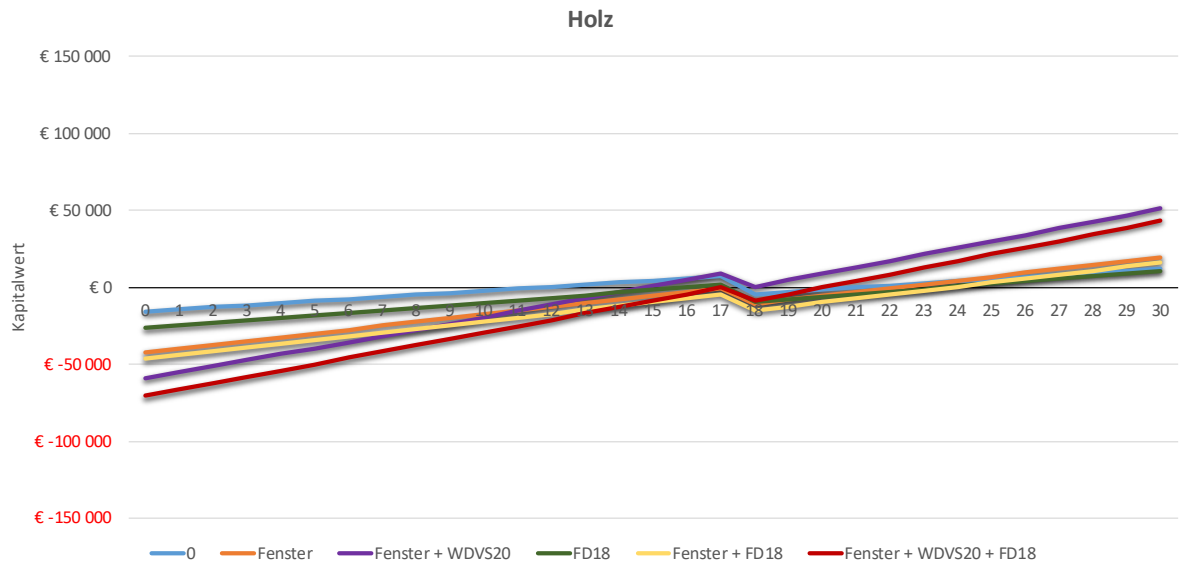


Abbildung A.23: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern

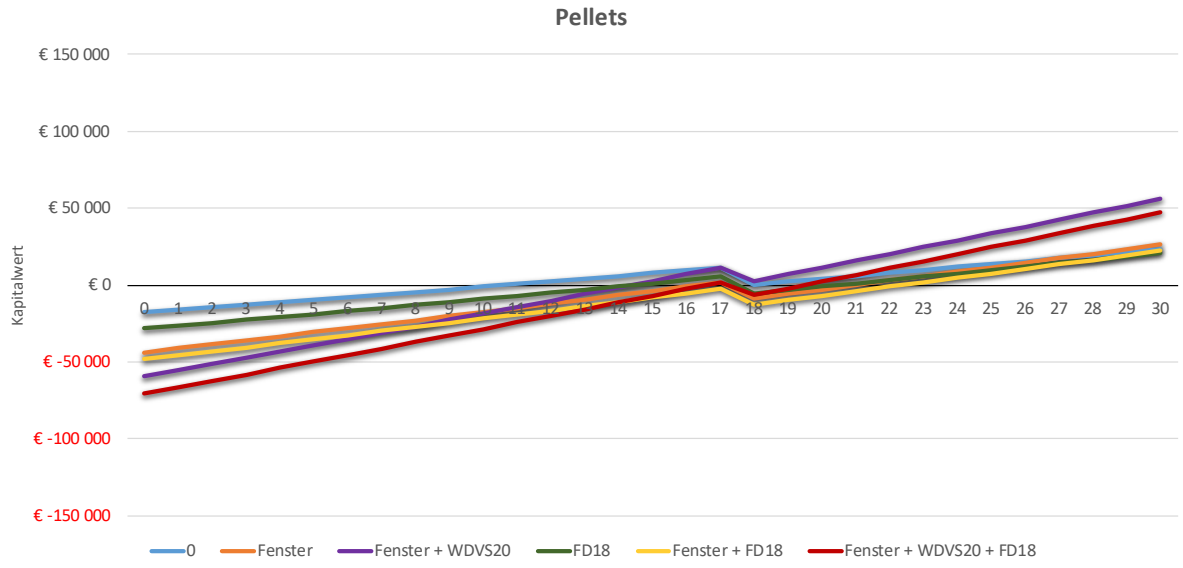


Abbildung A.24: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern

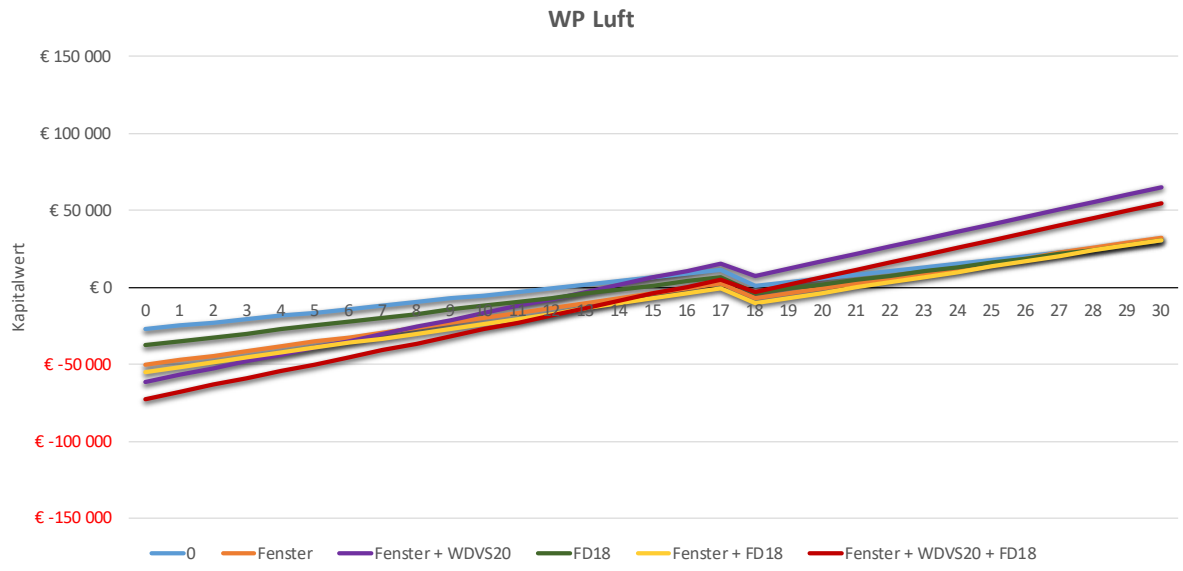


Abbildung A.25: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern

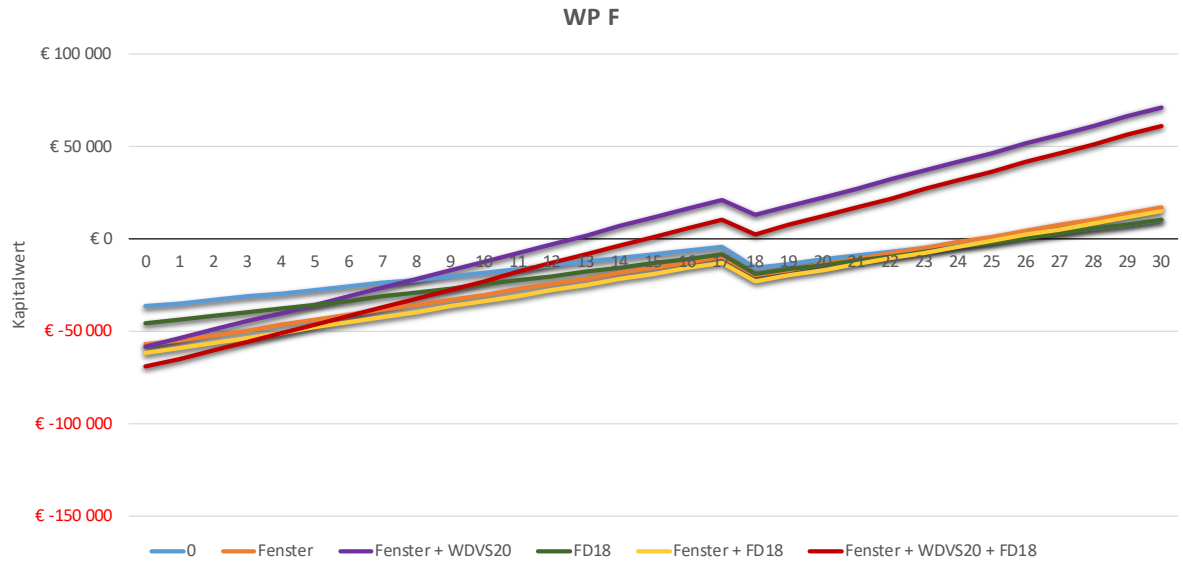


Abbildung A.26: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern

t

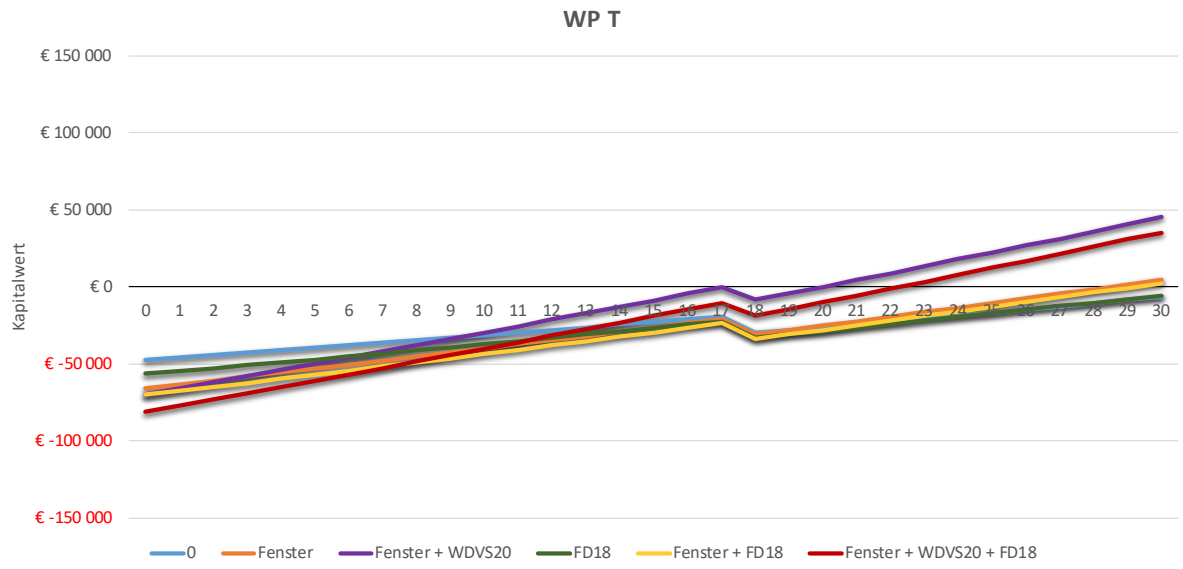


Abbildung A.27: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern

EFH modern – Ergebnisse unter Berücksichtigung der Energiekosten und Umweltkosten

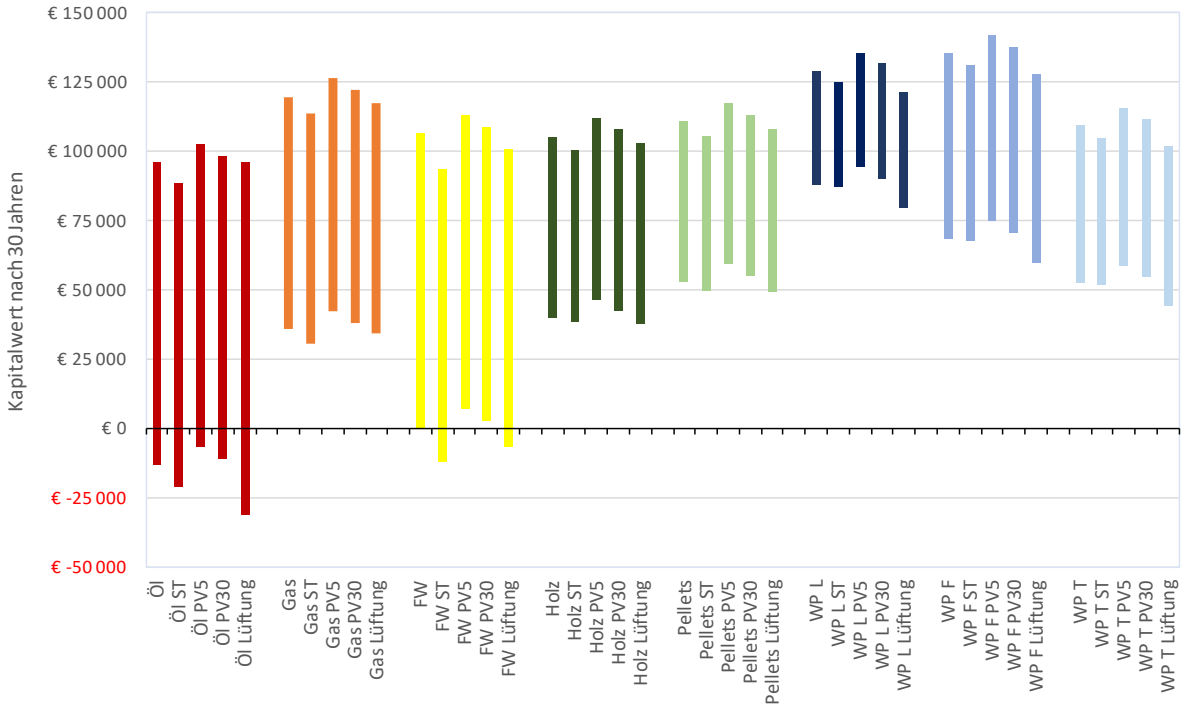


Abbildung A.28: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

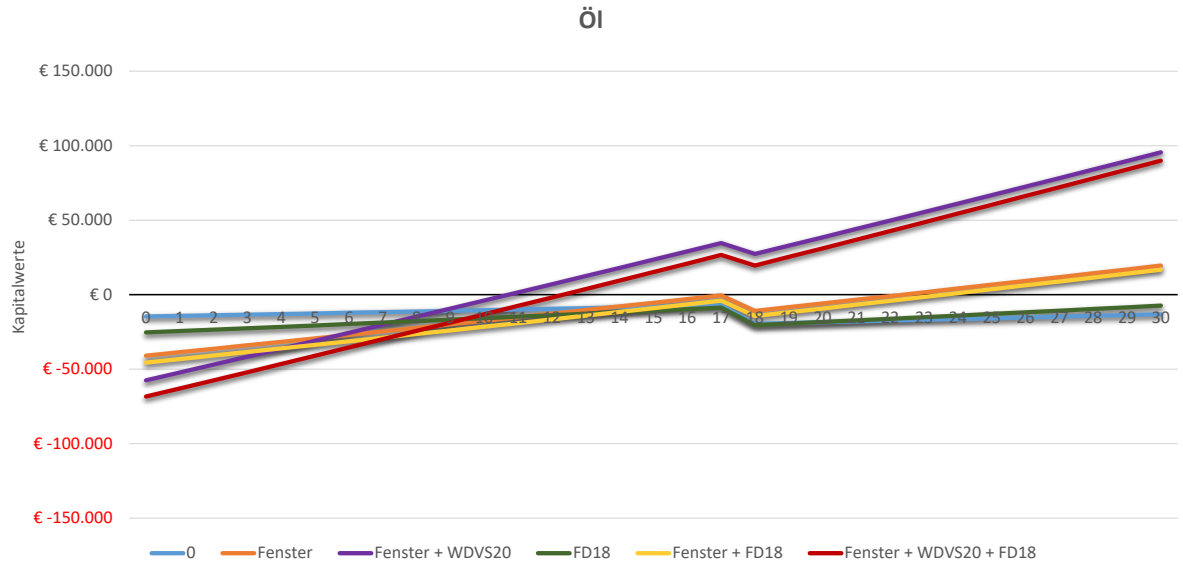


Abbildung A.29: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

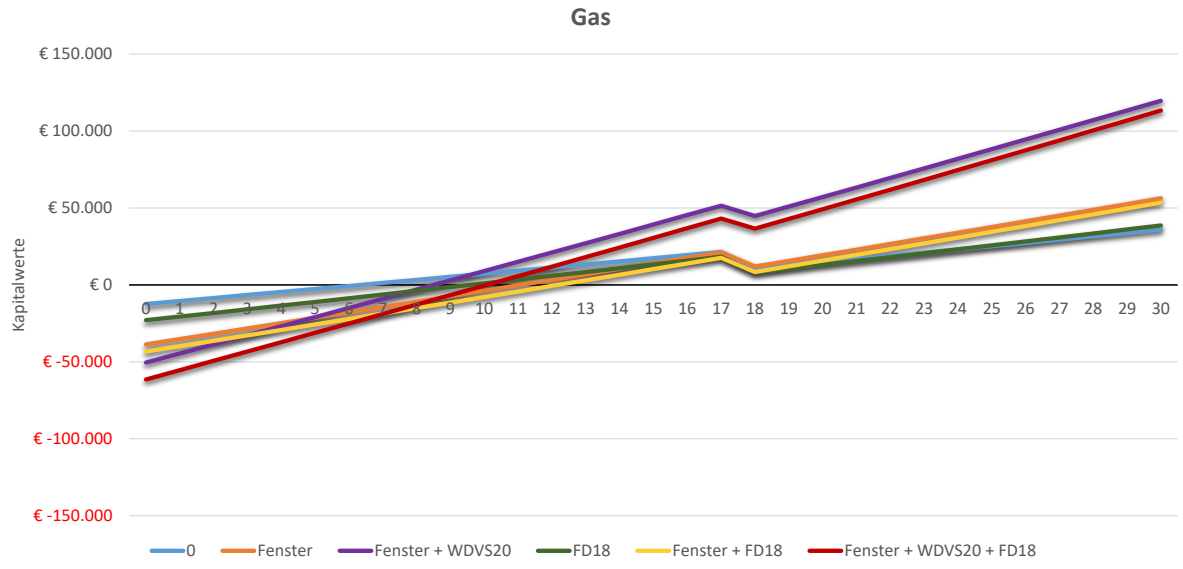


Abbildung A.30: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

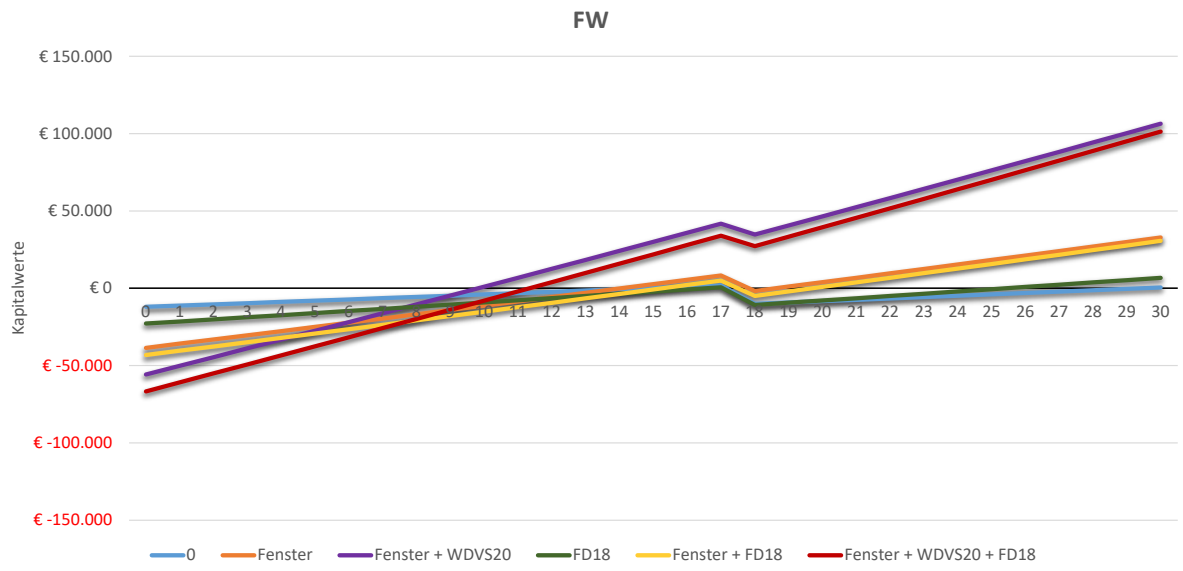


Abbildung A.31: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

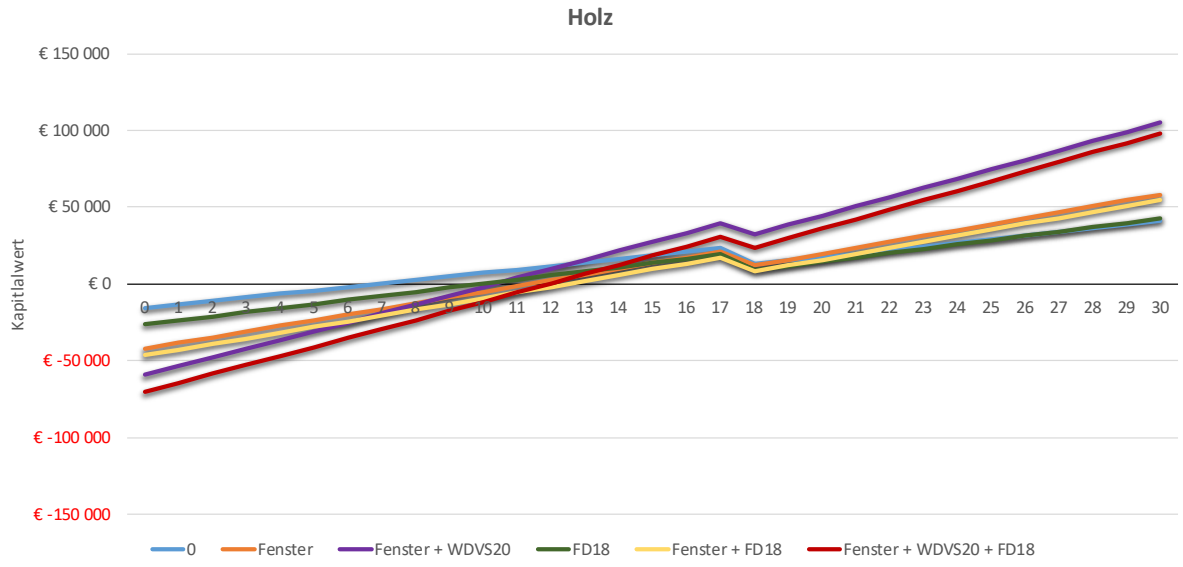


Abbildung A.32: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

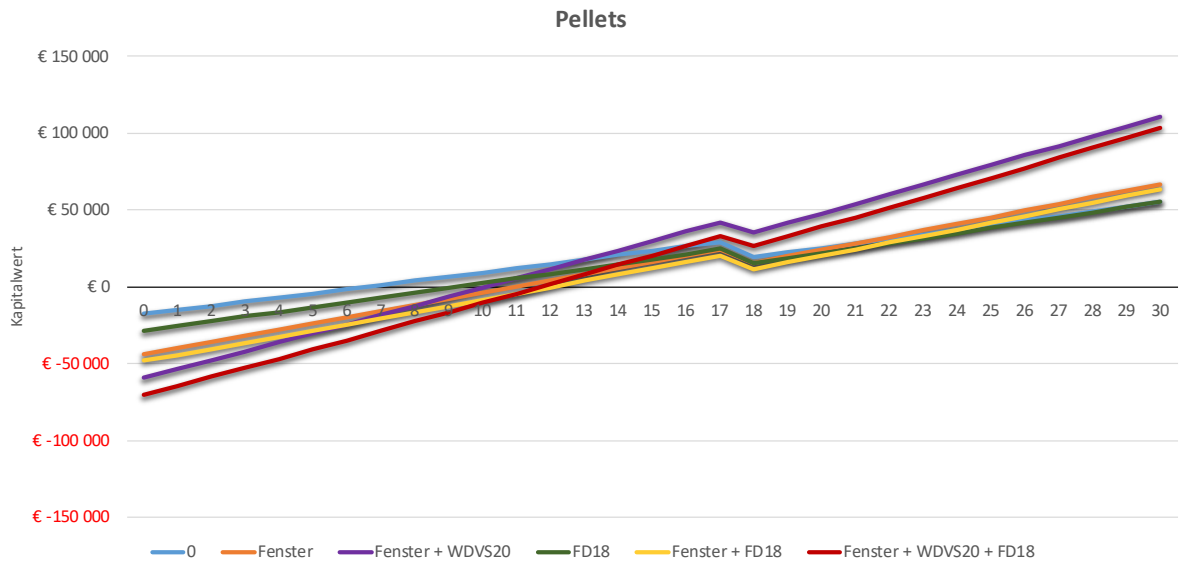


Abbildung A.33: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

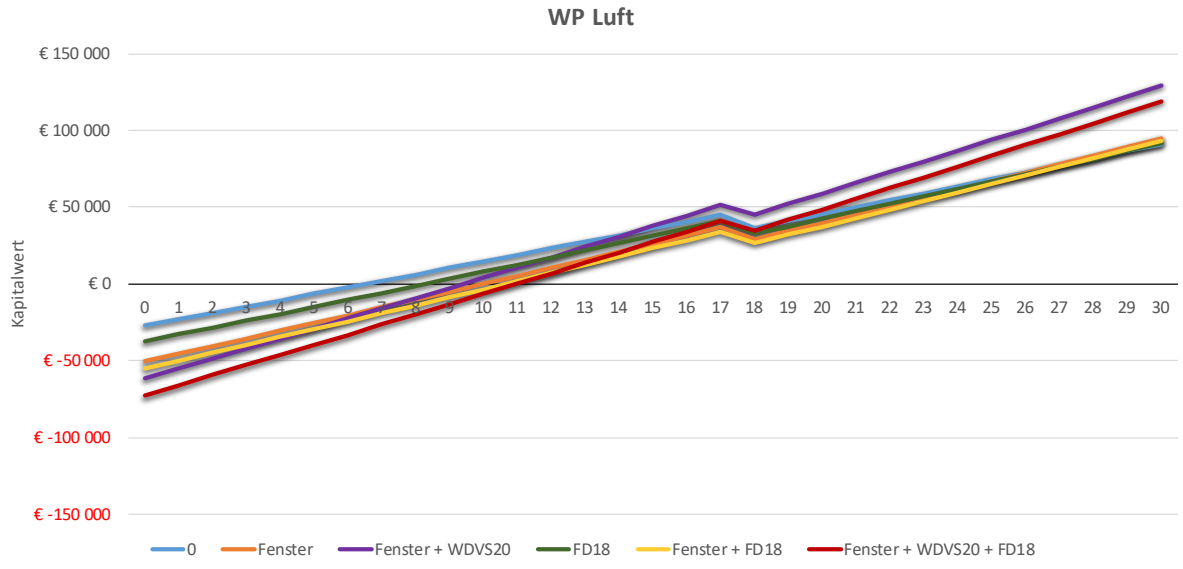


Abbildung A.34: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

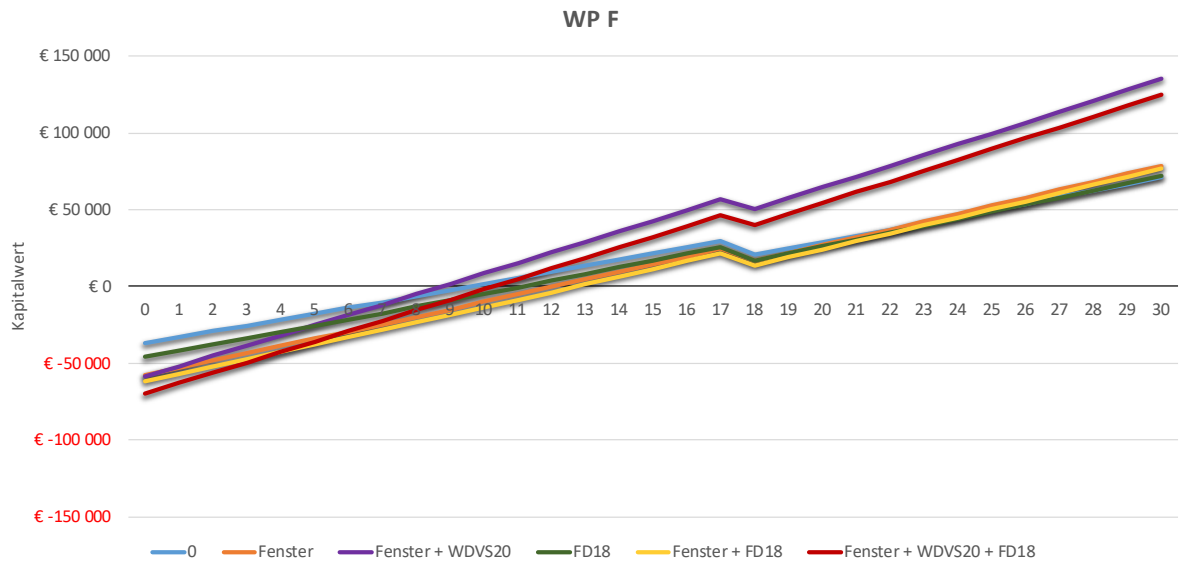


Abbildung A.35: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

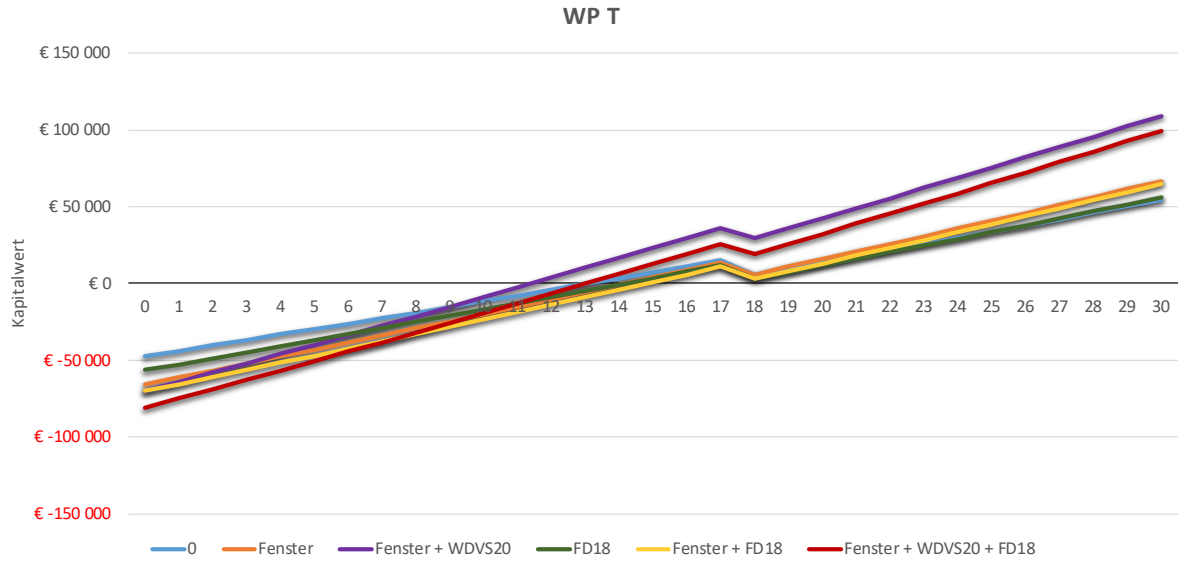


Abbildung A.36: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH modern unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

EFH klassisch – Ergebnisse unter Berücksichtigung der Energiekosten keine Umweltkosten

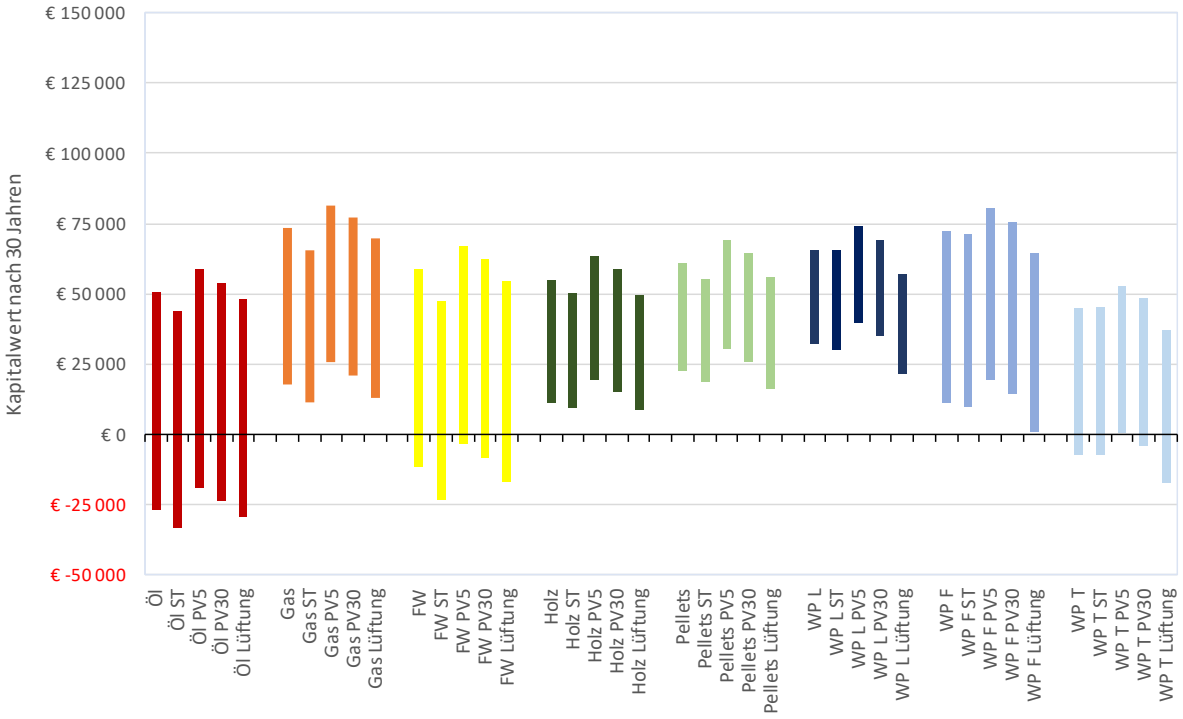


Abbildung A.37: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim EFH klassisch

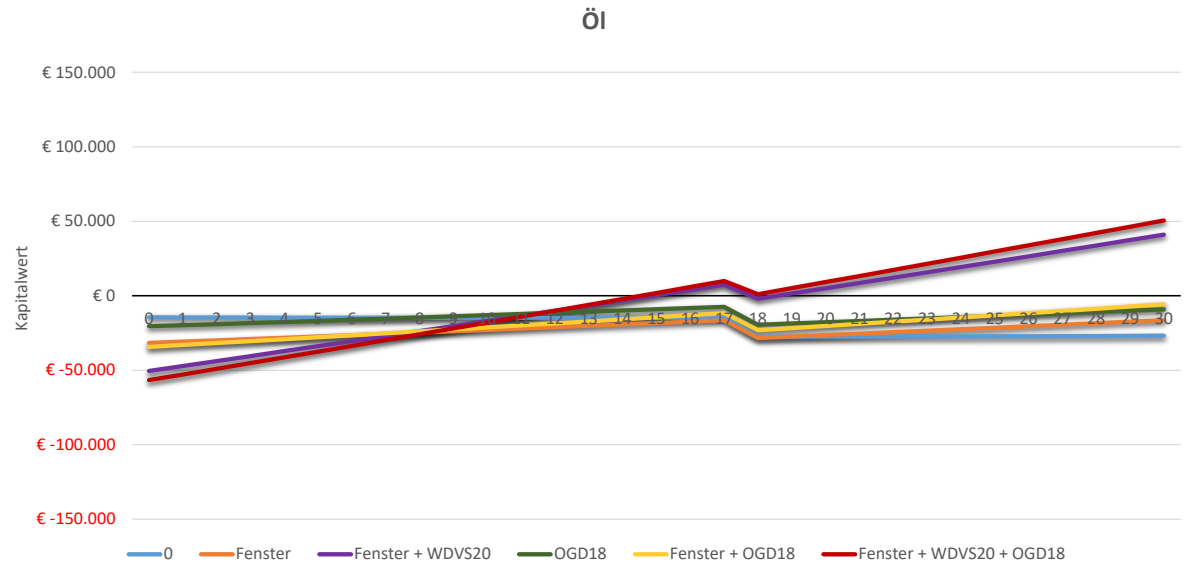


Abbildung A.38: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch

z

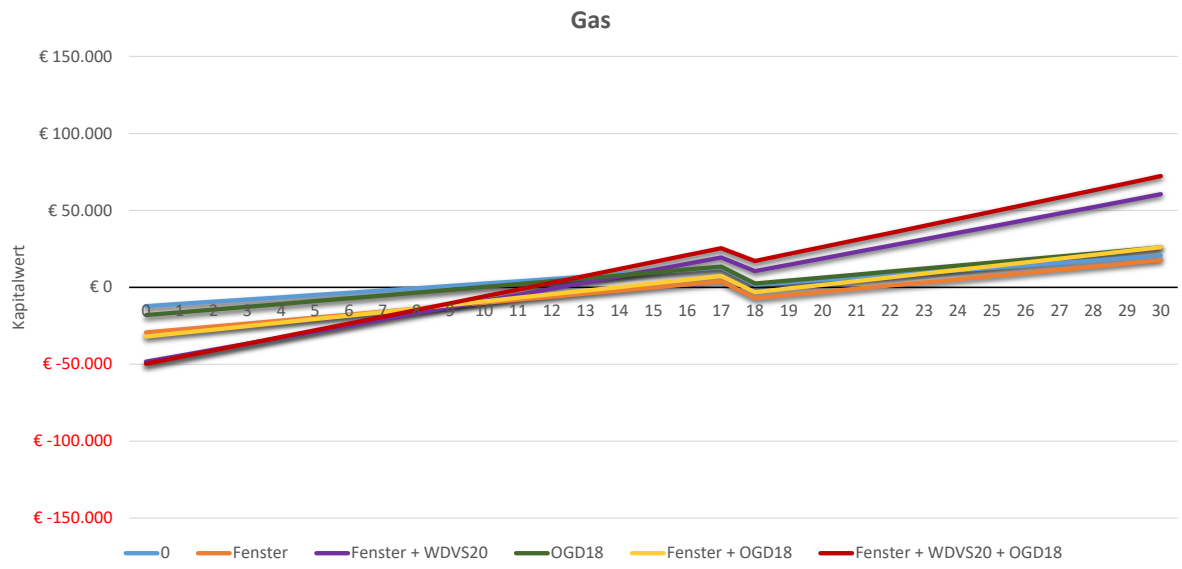


Abbildung A.39: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch

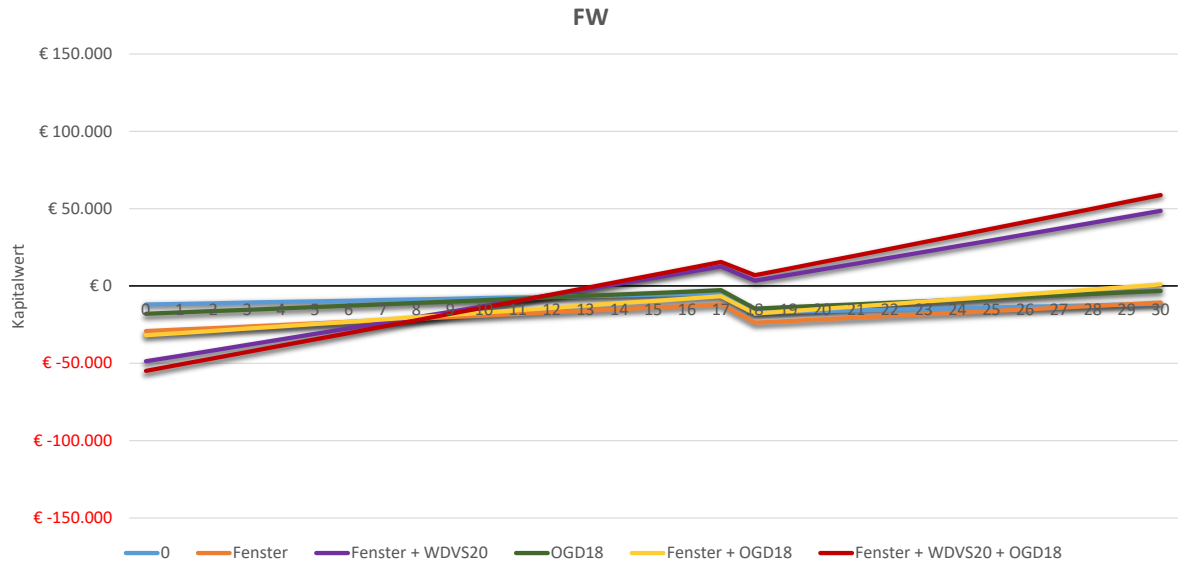


Abbildung A.40: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch

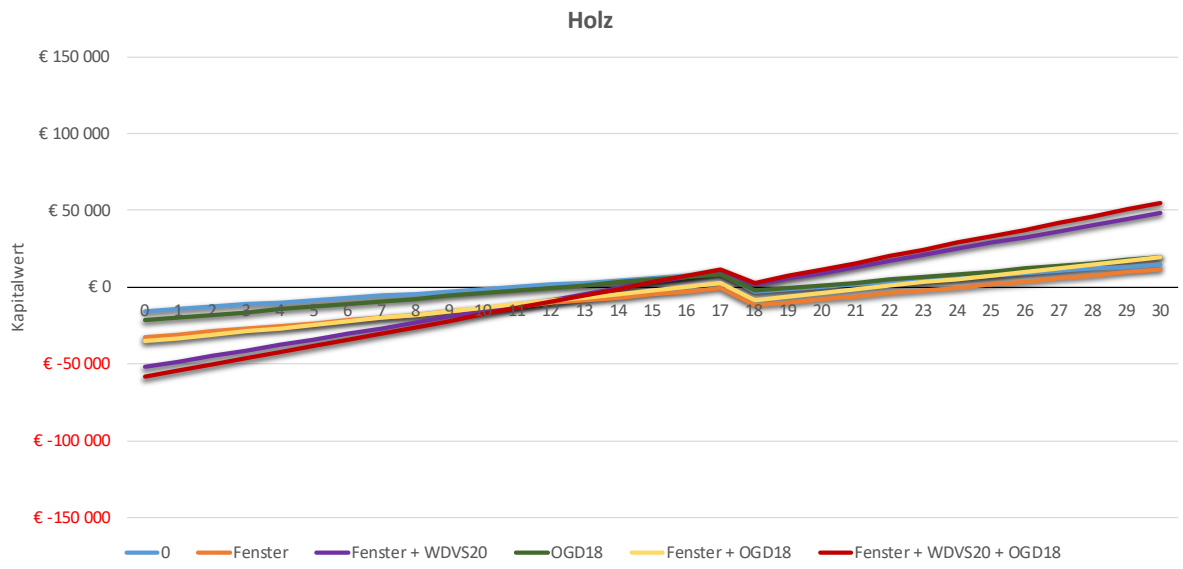


Abbildung A.41: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch

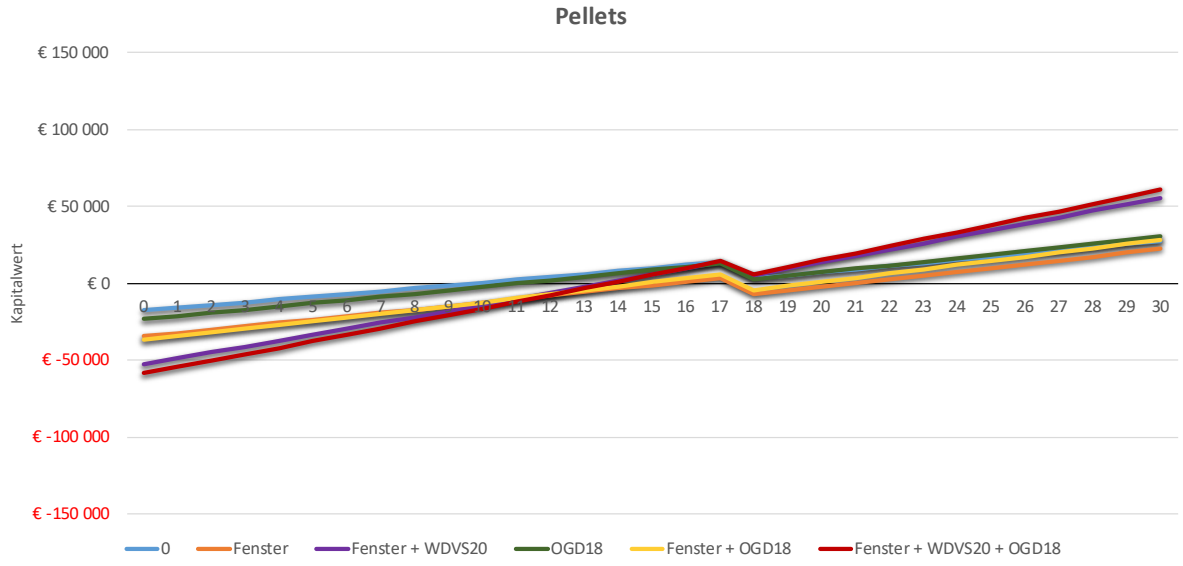


Abbildung A.42: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch

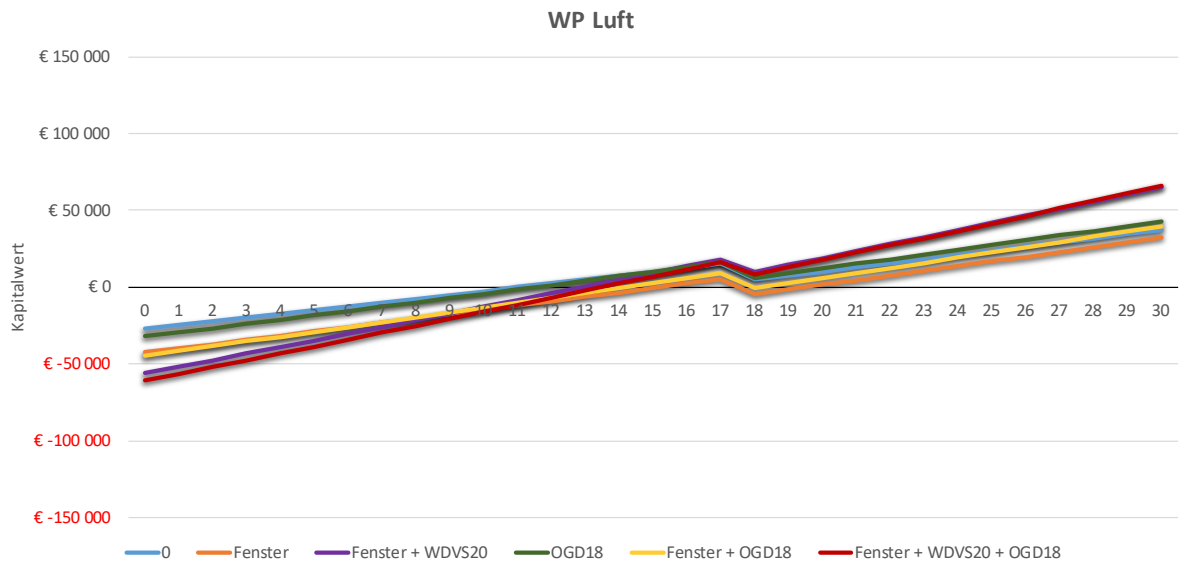
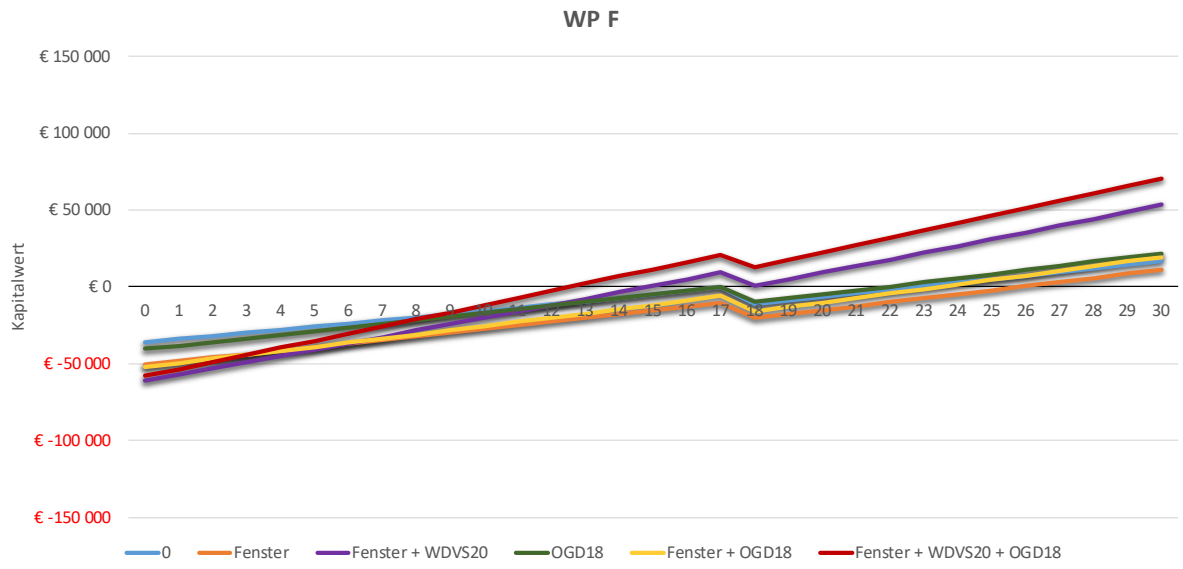


Abbildung A.43: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch



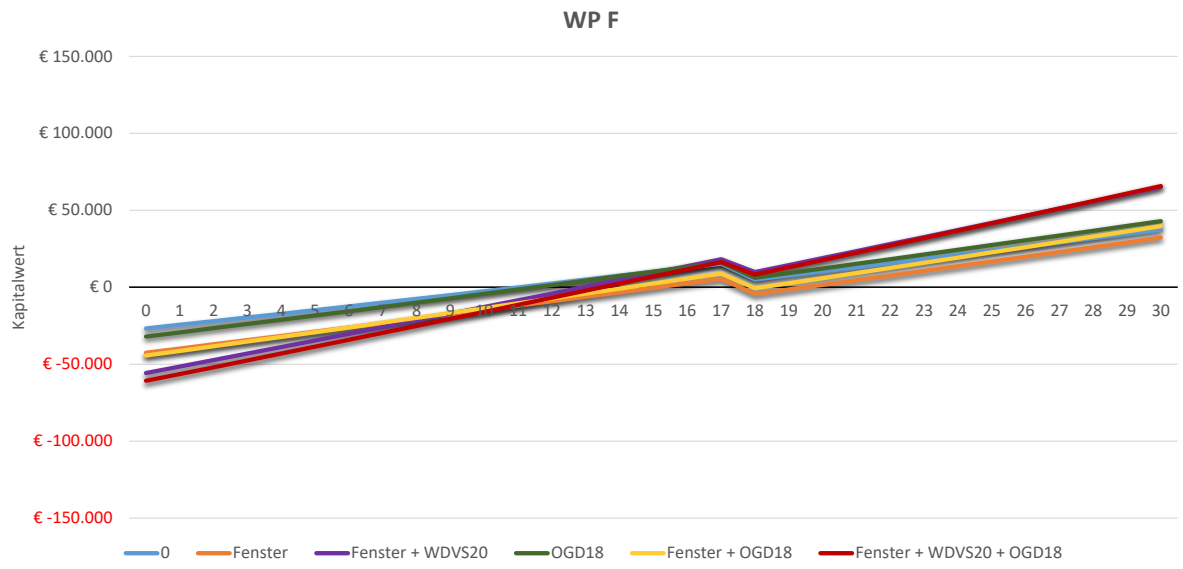


Abbildung A.44: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch

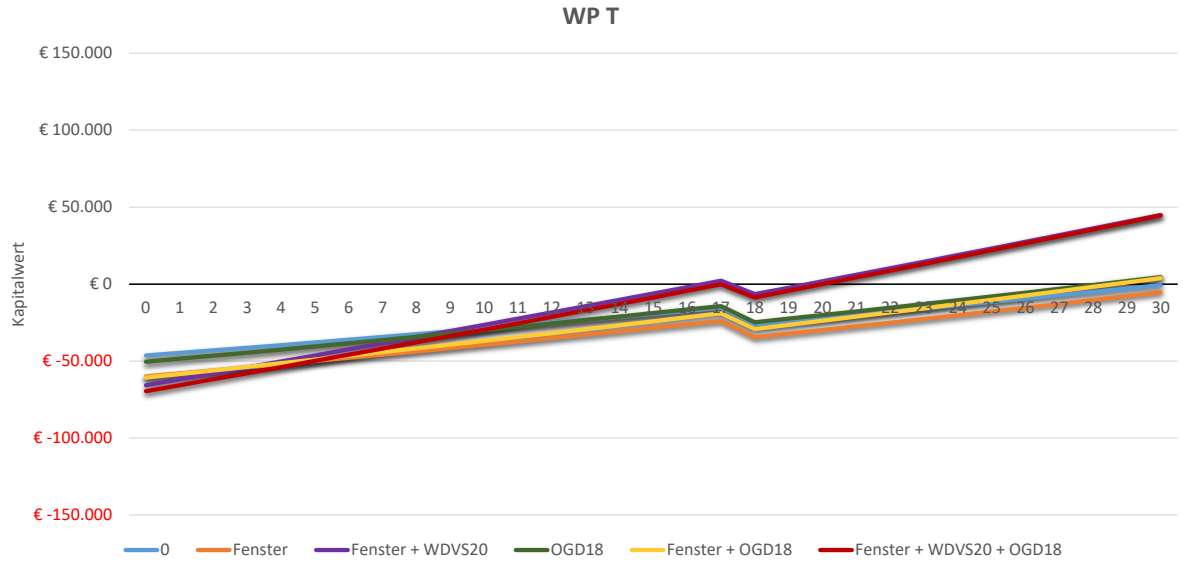


Abbildung A.45: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch

dd

EFH klassisch – Ergebnisse unter Berücksichtigung der Energiekosten und Umweltkosten

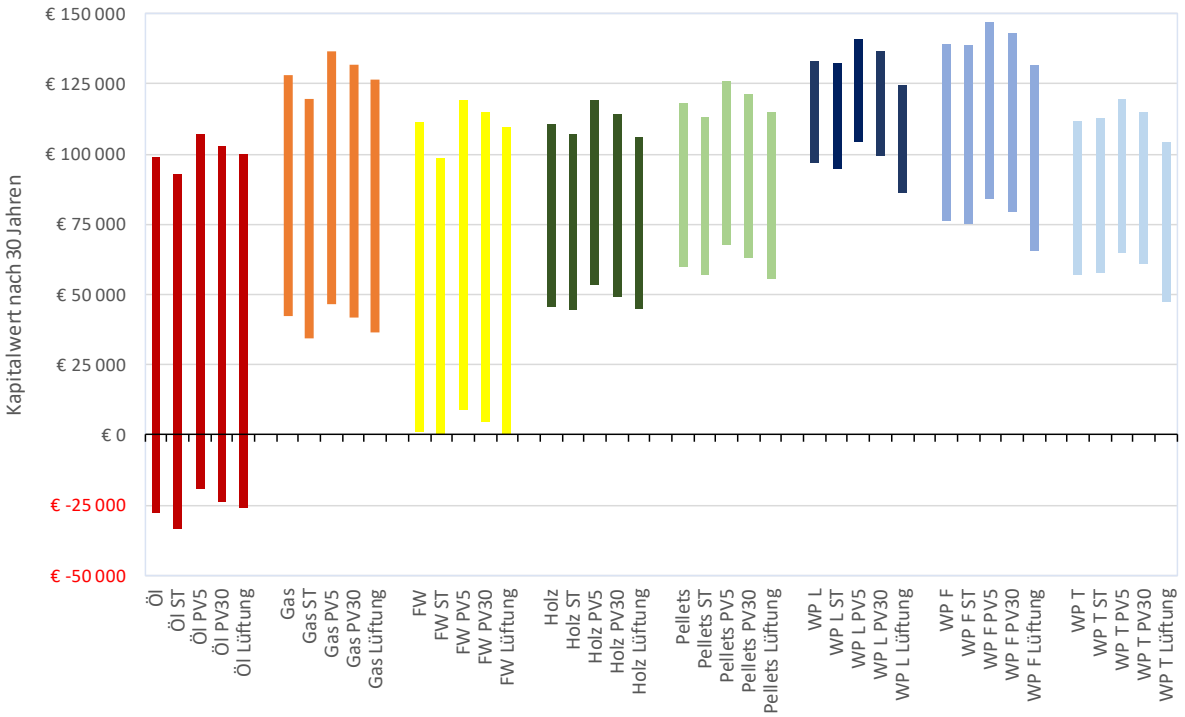


Abbildung A.46: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten und Heizungstausch beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

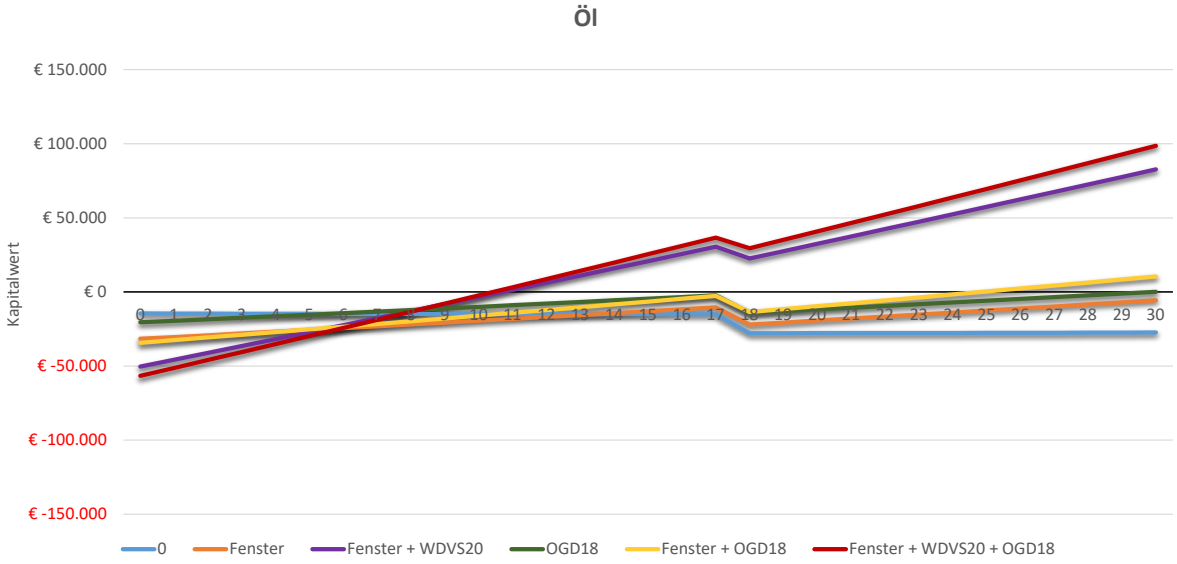


Abbildung A.47: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

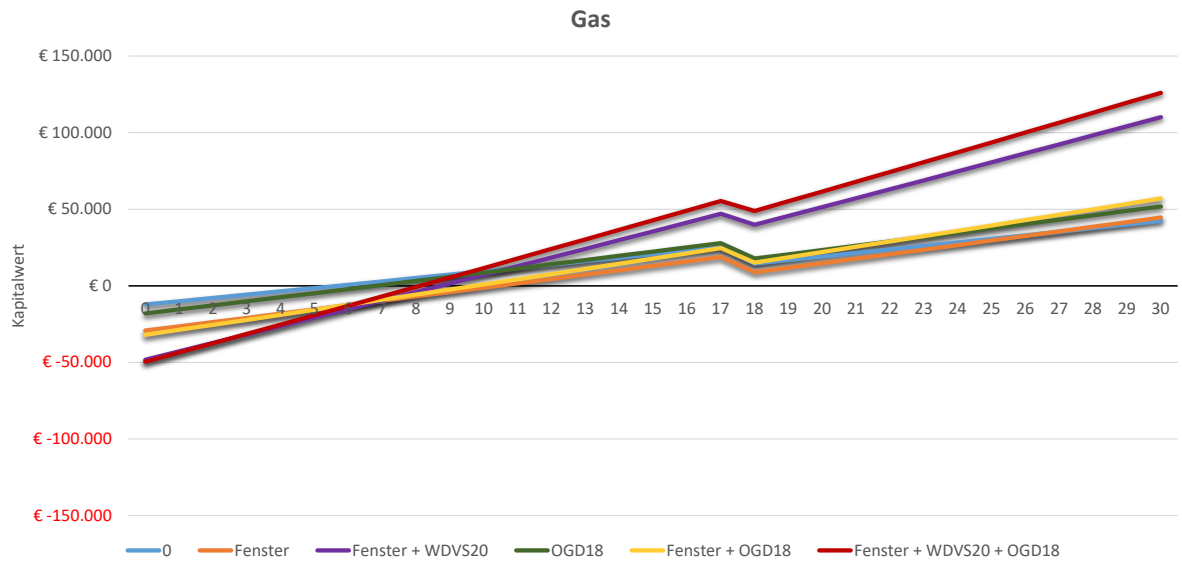


Abbildung A.48: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

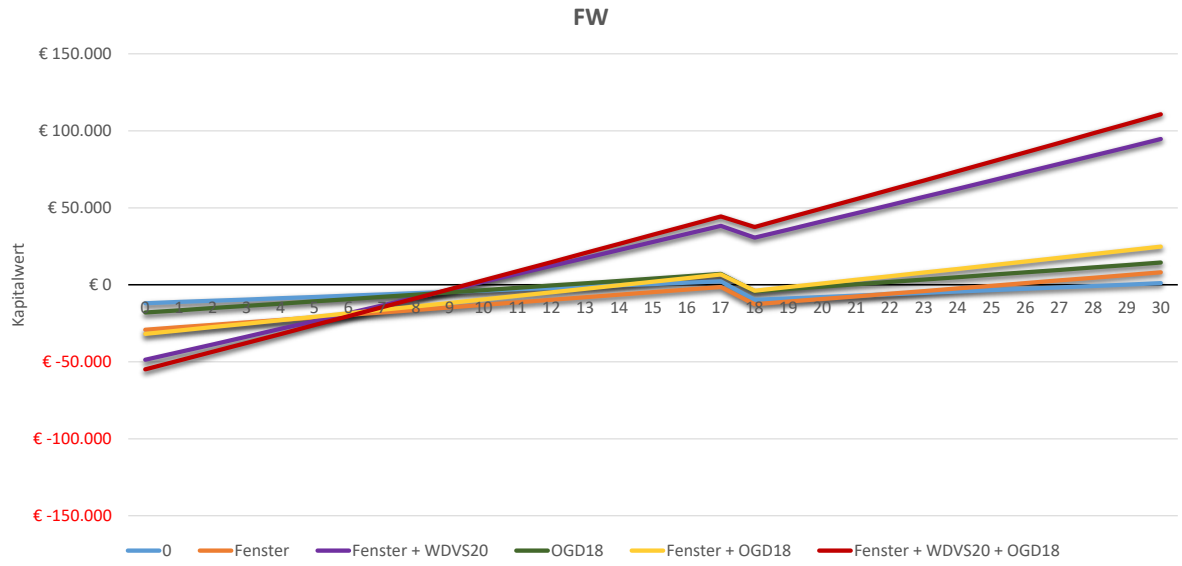


Abbildung A.49: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

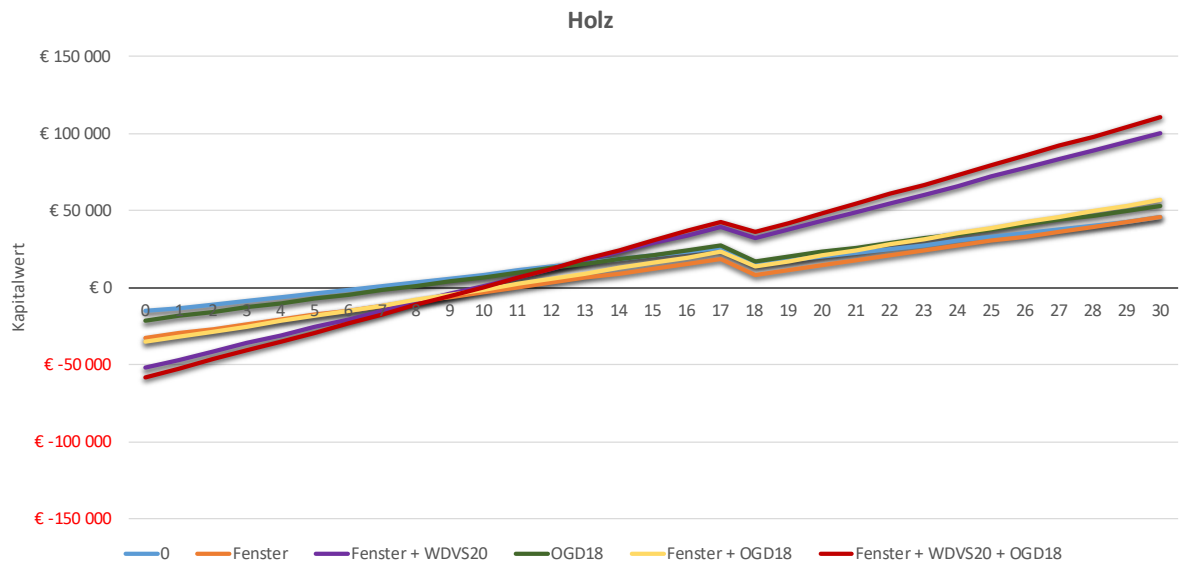


Abbildung A.50: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

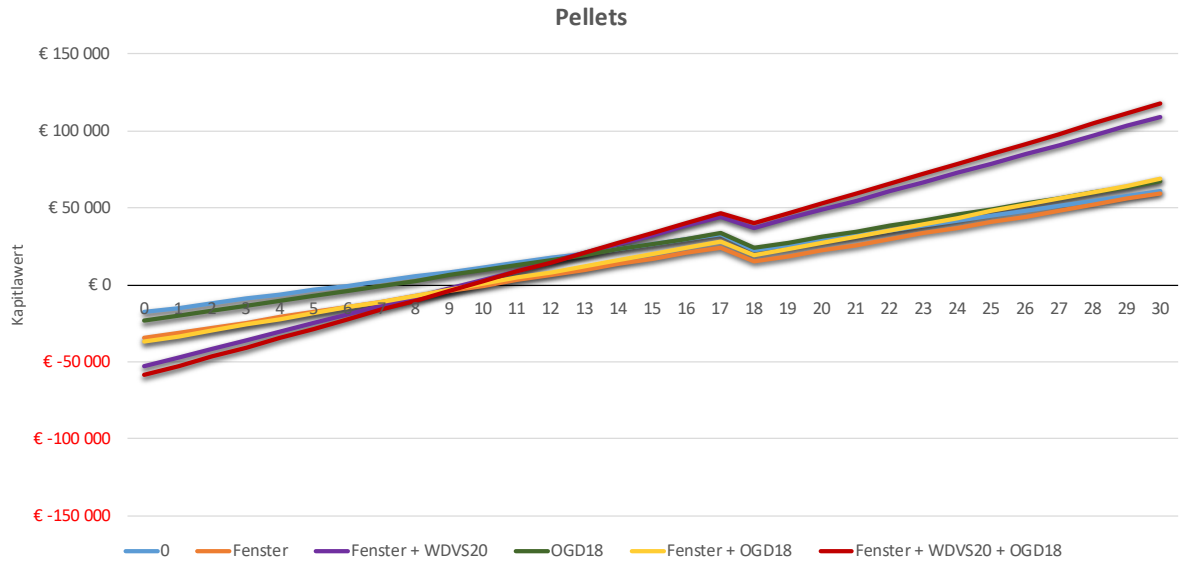


Abbildung A.51: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

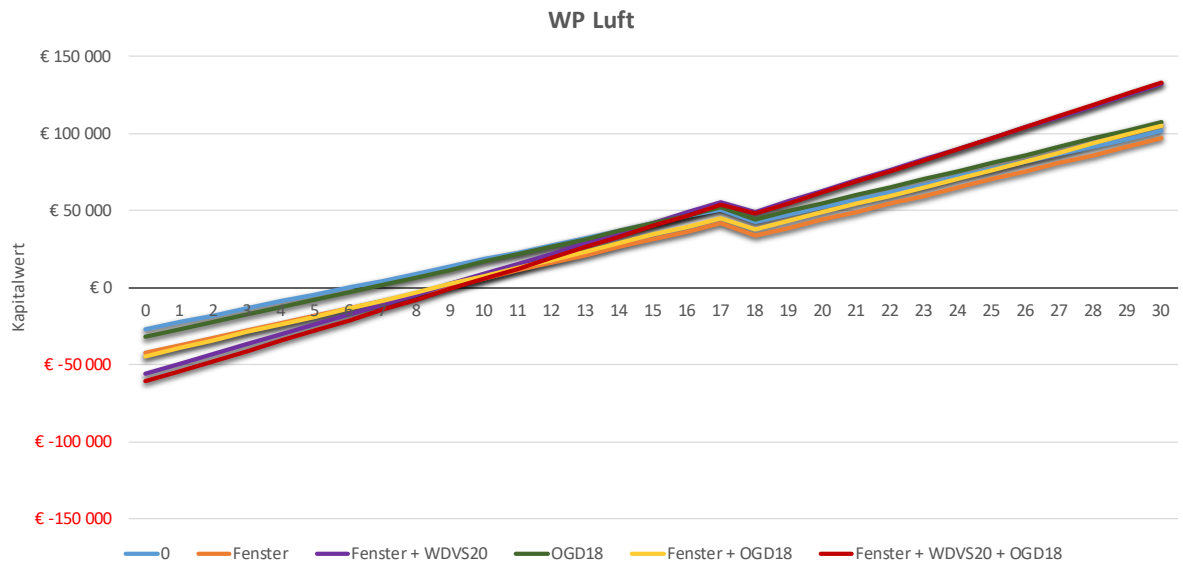


Abbildung A.52: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

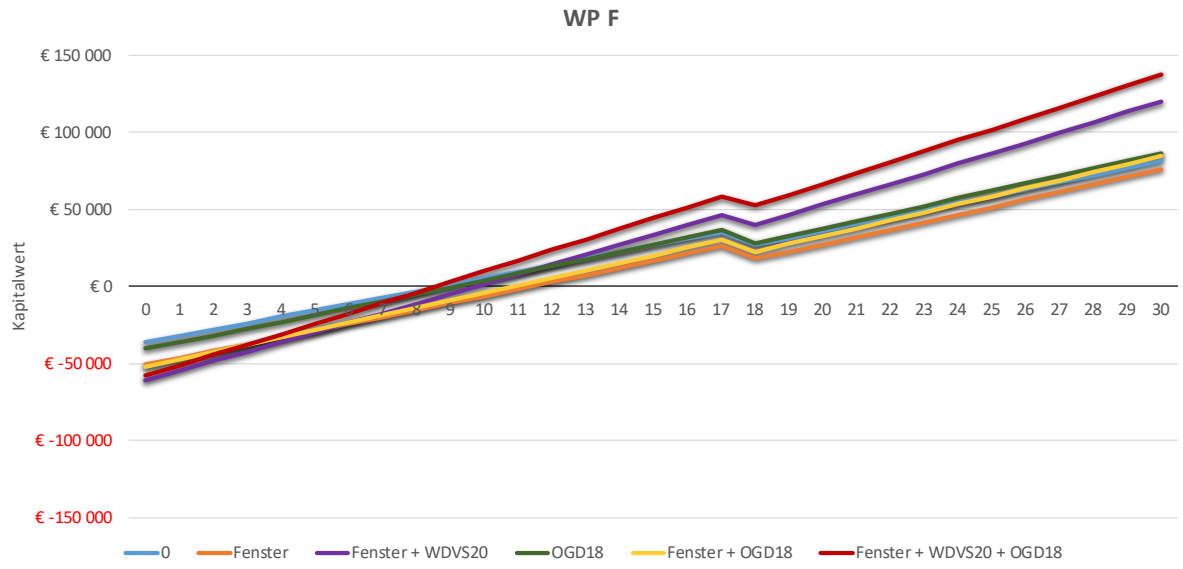


Abbildung A.53: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

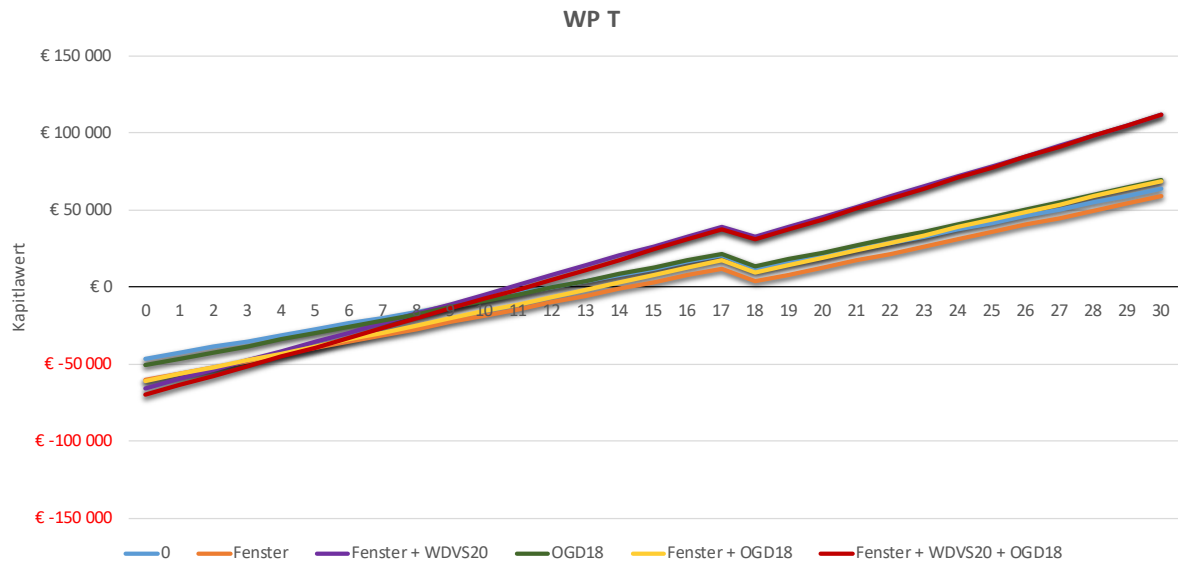


Abbildung A.54: Kapitalwert bei unterschiedlichen Sanierungsvarianten beim EFH klassisch unter Berücksichtigung der Umweltkosten neben den Energiekosten

Fachhochschule Salzburg GmbH
Markt 136a, 5431 Kuchl, Austria
T: +43 50/2211-2700
F: +43 50/2211-2099
M: office.smb@fh-salzburg.ac.at
Bachelorstudiengang Smart Building
www.fh-salzburg.ac.at/smb
Masterstudiengang Smart Buildings in Smart Cities
www.fh-salzburg.ac.at/smc
Forschung Smart Building und Smart City
www.fh-salzburg.ac.at/smart-forschung

Fachhochschule Salzburg University of Applied Sciences

Projektbeteiligte

BAU Akademie Salzburg
Bildung.Karriere.Erfolg.

ENERGIE BERATUNG

LAND SALZBURG

gizmocraft™
design and technology

Holzcluster
Salzburg

ITG Innovationsservice für Salzburg

Arch+Ing
ZIVILTECHNIKER

ZEHENTMAYER
SOFTWARE GMBH